

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Modelování a simulace jednofázového polorízeného
usměrňovače
Modelling and Simulation of Single Phase Half
Controlled Rectifier

2013

Zbyněk Rohan

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Zbyněk Rohan

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Modelování a simulace jednofázového polořízeného usměrňovače
Modelling and Simulation of Single Phase Half Controlled Rectifier

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor činnosti jednofázového polořízeného usměrňovače pro různé typy zátěží
2. Sestavení matematického a simulačního modelu jednofázového polořízeného usměrňovače
3. Simulační ověření vlastností jednofázového polořízeného usměrňovače pro různé typy zátěží

Seznam doporučené odborné literatury:

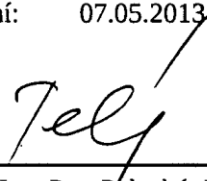
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ivo Neborák, CSc.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry

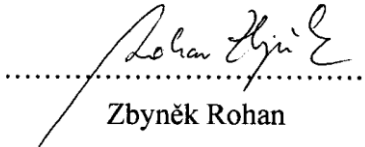



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.“

V Ostravě 7. května 2013


Zbyněk Rohan

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ivu Neborákovi, CSc. za odbornou pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali a vedli ke studiu. Největší dík ve všem zasluhuje Bc.Silvana Perglová.

ABSTRAKT:

Bakalářská práce se zabývá simulacemi zapojení jednofázového polořízeného usměrňovače. Zapojení symetrické a nesymetrické bude aplikováno pomocí bloků SimPowerSystems do simulačního prostředí programu MATLAB – Simulink a následně porovnáno s teorií. Zapojení bude realizováno na více typech zátěží s jinými úhly řízení. Součástí práce je porovnání a sestavení modelu polořízeného usměrňovače v jiném simulačním programu OrCAD Capture (PSpice), který je produktem společnosti Cadence Design Systems, Inc, s licencí VŠB-TU Ostrava. Bakalářská práce by mohla sloužit jako výukový materiál.

Klíčová slova:

Usměrňovač, zátěž, dioda, tyristor, generátor pulsů, zdroj napětí, Matlab Simulink, OrCAD

ABSTRACT:

The bachelor's thesis investigates the simulation connection of single-phase, semicontrolled rectifier. Symmetrical and dissymmetrical circuit connection will be applied to simulation environment MATLAB-Simulink, by using SimPowerSystem's blocks and compared with results of theoretical investigation. The Simulation connection will be tested for more consumers with different angles of control signals. Building and comparing the model of semicontrolled rectifier by using the other simulation environment OrCAD Capture (PSpice) is also part of this bachelor's thesis. OrCAD Capture (PSpice) is product of Cadence Design Systems, Inc. and the licence of VŠB-TU Ostrava was used for preparation of simulations, which this bachelor's thesis includes. The bachelor's thesis can be used for learning purpose as a teaching material.

Keywords:

Rectifier load, diode, thyristor, pulse generator, power supply, Matlab Simulink, OrCAD

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>Veličina</i>	Význam	Jednotka
I	efektivní hodnota střídavého proudu	[A]
I_D	okamžitá hodnota proudu na zátěži	[A]
i_{T1}, i_{T2}	okamžité hodnoty proudů na tyristorech	[A]
i_{D1}, i_{D2}	okamžité hodnoty proudů na diodách	[A]
L	indukčnost	[H]
R	odpor	[Ω]
U_{\sim}	střídavé napětí AC zdroje	[V]
U_d	střední hodnota usměrněného napětí	[V]
α	úhel řízení	[°]

Označení součástek a jejich vstupy a výstupy

a	anoda (dioda, tyristor)
D_1, D_2	označení diod
g	gate, vstup z generátoru pulsů (dioda, tyristor)
k	katoda (dioda, tyristor)
L	označení induktivní zátěže
m	měřicí vstup pro voltmetr či ampérmetr (measurment)
P_1, P_2	výstupy z generátoru pulsů
R	označení odporové zátěže
RL	označení odporově induktivní zátěže
T_1, T_2	označení tyristorů
Z	označení zátěže

Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Teoretický rozbor	9
2.1	Usměrňovač	9
2.2	Jednofázové polořízené usměrňovače.....	10
2.2.1	Symetrické zapojení	10
2.2.2	Nesymetrické zapojení	12
2.3	Význam a použití polořízených usměrňovačů.....	14
3.	Simulační programy	15
3.1	Matlab	15
3.2	Simulink	15
3.3	OrCAD	16
4.	Sestavení simulačního modelu - Matlab Simulink.....	16
4.1	Základní schéma.....	16
4.2	Nastavování parametrů součástek a jejich bloky.....	17
4.2.1	Generátor pulsů pro tyristory	17
4.2.2	Zátěž.....	18
4.2.3	Dioda	19
4.2.4	Tyristor	20
4.2.5	Zdroj AC napětí	21
4.3	Schémat zapojení a výstupní grafy pro symetrické zapojení.....	22
4.3.1	Zátěž R (odporová).....	22
4.3.2	Zátěž L (induktivní).....	23
4.3.3	Zátěž RL (odporově induktivní)	25
4.4	Schémat zapojení a výstupní grafy pro nesymetrické zapojení.....	26
4.4.1	Zátěž R (odporová).....	26
4.4.2	Zátěž L (induktivní).....	28
4.4.3	Zátěž RL (odporově induktivní)	29
4.5	Příklad simulace na konkrétním asynchroním motoru a usměrňovači.....	31
5.	Závěr	35
6.	Seznam použité literatury	36

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá modelací a simulacemi jednofázového polořízeného usměrňovače jak v symetrickém, tak i v nesymetrickém zapojení. V programu Matlab Simulink, pomocí bloků SimPowerSystems bude provedena simulace na více typech zátěží, na více úhlech řízení a výsledky budou porovnány s teorií a dalším simulačním programem (OrCAD Capture).

V první části bakalářské práce, hned po teoretickém rozboru budou popsány vstupující součástky a zařízení, které se polořízených usměrňovačů týkají. Bude předvedeno jejich nastavování v blocích knihovny SimPowerSystems programu Matlab Simulink, Druhá část bakalářské práce bude věnována konkrétnímu symetrickému zapojení polořízeného jednofázového usměrňovače. V programu Matlab Simulink budou nasimulovány průběhy usměrněného napětí a proudu na třech typech zátěží. Na odporové (R), induktivní (L) a na odporově induktivní (RL). Výstupní průběhy budou znázorněny při dvou úhlech řízení 60° a 120° . Hodnoty zátěže budou voleny tak, aby byly jasně vidět vlastnosti polořízených usměrňovačů. Třetí část bakalářské práce bude věnována konkrétnímu nesymetrickému zapojení polořízeného jednofázového usměrňovače. V programu Matlab Simulink budou nasimulovány průběhy usměrněného napětí a proudu na třech typech zátěží. Na odporové (R), induktivní (L) a na odporově induktivní (RL). Výstupní průběhy budou znázorněny při dvou úhlech řízení 60° a 120° . Hodnoty zátěže budou voleny tak, aby byly jasně vidět vlastnosti polořízených usměrňovačů. Čtvrtá část bakalářské práce se věnuje konkrétním příkladu, kde bude v závěru představena simulace na usměrňovači s požadavkem na konkrétní výstup z usměrňovače pro skutečné zařízení a součástky. Bude předvedeno přímé uplatnění simulačního programu Matlabu Simulink v praxi. V poslední části, týkající se především příloh bakalářské práce, budou porovnány dva simulační programy (Matlab Simulink a OrCAD). Bude předvedena simulace v obou programech se s stejnými parametry zátěže (RL), s totožným nastavením součástek a se stejnými nastavenými úhly řízení. V závěru pak budou shrnuty veškeré průběhy, které budou porovnány s teorií a vzájemnými programy.

2. Teoretický rozbor

2.1. Usměrňovač

Usměrňovač je polovodičový měnič, který vhodným spínáním polovodičových prvků provádí přeměnu střídavé elektrické energie na energii stejnosměrnou. Musí si ho opatřit každý, kdo potřebuje stejnosměrnou energii, neboť žádná elektrárna tento druh energie nevyrábí. Stejnosměrnou elektrickou energii potřebujeme v celé řadě případů:

- pro napájení **stejnosměrných regulovaných pohonů**
- pro napájení **trakčních vedení** městských i dálkových
- pro **elektrochemické procesy** při výrobě hliníku, mědi i jiných látek
- usměrňovače jsou součástí **svařovacích agregátů**
- usměrňovače jsou také součástí i **jiných polovodičových měničů**

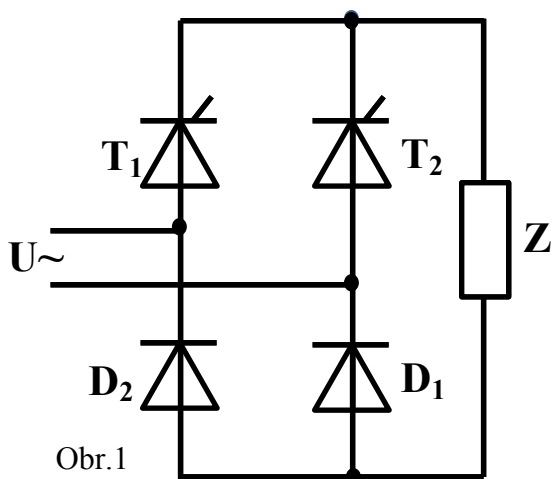
Usměrňovače se vyrábějí v širokých rozsazích proudových, napěťových i výkonových. Usměrňovače určené pro napájení stejnosměrných regulovaných pohonů patří do kategorie "inteligentních" měničů. Jsou plně programovatelné, dovedou komunikovat s nadřazenými systémy a umožňují takto dosáhnout dokonalého a pružného řízení technologických procesů.

Akčním členem v usměrňovači je polovodič, v nejčastějším případě dioda či tyristor. Rozdíl mezi diodovým a tyristorovým usměrňovačem je v tom, že u diodového nelze měnit střední hodnotu výstupního stejnosměrného napětí.

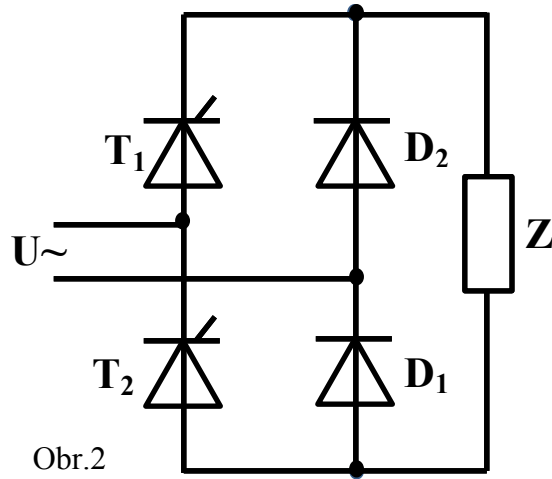
U tyristorového měniče lze pomocí řídicího proudového impulsu do řídicí elektrody zvolit okamžik, ve kterém se tyristor dostane z blokovacího režimu do režimu vodivého. Tyristor pak vede elektrický proud až do konce půlperrody. V závislosti na okamžiku sepnutí lze na výstupu řídit střední hodnotu stejnosměrného napětí. Úhel, o který se otevření tyristoru zpozdí od začátku půlperrody se nazývá řídicí úhel, označuje se nejčastěji řeckým písmenem α , nabývá u jednofázových usměrňovačů hodnot od 0° do 180° . Vhodnou regulací řídicího úhlu lze měnit střední hodnotu stejnosměrného napětí takřka od nuly po plné napětí. Tyto vlastnosti tyristorovému usměrňovači předurčují uplatnění především v elektrických pohonech, kde lze regulovat rotorové napětí stejnosměrných motorů, proud jejich buzení či proud buzení synchronních motorů a tím tak strojům bezztrátově měnit jejich mechanické a elektrické vlastnosti. Řízené usměrňovače lze využít též pro regulaci tepelného či světelného výkonu.

2.2. Jednofázové polořízené usměrňovače

Jestliže protéká stejnosměrný proud i_d dvěma tyristory, zapojenými v sérii, pak lze jeden z tyristorů nahradit diodou. Toto zapojení pak nazýváme usměrňovačem polořízeným. (Zapojení, které neztrácí schopnost řízení vstupních veličin.) Je tedy zřejmé, který usměrňovač může nebo nemůže být polořízeným. Usměrňovače polořízené mohou být pouze v zapojení můstkovém. Rozlišujeme pak zapojení symetrické, zobrazené na obrázku 1 a zapojení nesymetrické, zobrazené na obrázku 2.



Obr.1



Obr.2

Obr. 1: schéma - symetrické zapojení polořízeného můstku

Obr. 2: schéma - nesymetrické zapojení polořízeného můstku

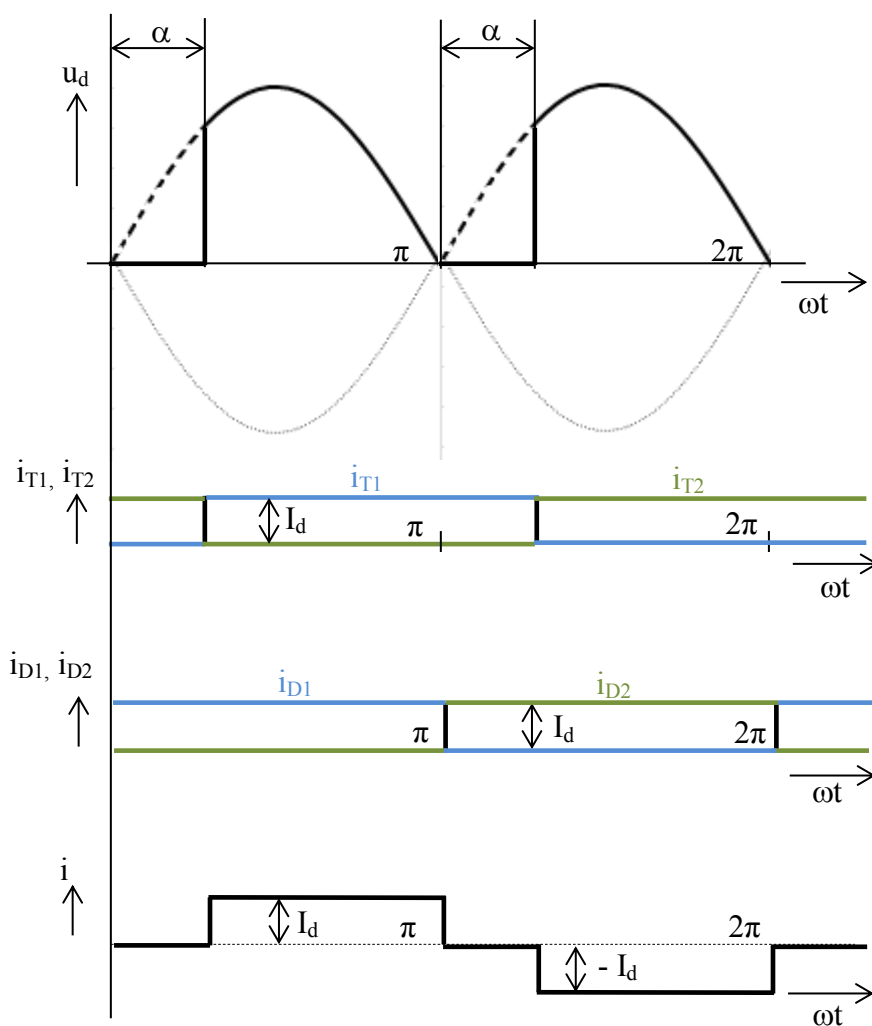
2.2.1. Symetrické zapojení

Analýza při: $L \rightarrow \infty$, proudy jsou vyhlazené. Střídavý napájecí zdroj je ideální, čili bez vnitřní impedance. Polovodičové prvky jsou také ideální.

Označení okamžitých hodnot proudů na jednotlivých polovodičových součástkách: i_{T1} , i_{T2} , i_{D1} , i_{D2}

Okamžitá hodnota proudu tekoucí do usměrňovače ze střídavé sítě: i

Průběhy okamžitých hodnot důležitých veličin v průběhu jedné periody:



Obr. 3: Průběhy okamžitých hodnot proudů a napětí u jednofázového polořízeného usměrňovače v symetrickém zapojení

Změnou polarity střídavého napájecího napětí dochází ke komutaci proudu z diody D_1 na diodu D_2 v okamžiku π a z diody D_2 na diodu D_1 v okamžiku 2π . Po přivedení řídicího impulsu na přebírající tyristor dochází ke komutaci proudu z tyristoru T_1 na tyristor T_2 v místě $\pi + \alpha$ a z tyristoru T_2 na tyristor T_1 v okamžiku α . Všechny komutace vždy znamenají opět zkrat, neboť vedou vždy chvíli dva prvky, předávající a přebírající. Střídavé napětí u je napětím komutačním, zajišťuje předávání proudu z jednoho prvku na druhý.

Střední hodnota usměrněného napětí U_d má velikost danou vztahem:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{\pi} U_m (1 + \cos \alpha) \quad (1.1)$$

Střední hodnota proudu tyristory T_1 a T_2 je stejná, $I_{dT1} = I_{dT2} = I_{dT}$, a má hodnotu:

$$I_{dT} = \frac{1}{2\pi} (\pi + \alpha - \alpha) \cdot I_d = \frac{I_d}{2} \quad (1.2)$$

Střední hodnota proudu diodami D_1 a D_2 je také totožná, $I_{dD1} = I_{dD2} = I_{dD}$, a má velikost

$$I_{dD} = \frac{1}{2\pi} \pi \cdot I_d = \frac{I_d}{2} \quad (1.3)$$

Průběh okamžité hodnoty proudu i , který teče do měniče ze střídavé napájecí sítě, je určen rozdílem okamžitých hodnot proudu, který teče tyristorem T_1 a diodou D_2 nebo rozdílem proudu protékající diodou D_1 a tyristorem T_2 .

Platí $i = i_{T1} - i_{D2}$ nebo $i = i_{D1} - i_{T2}$.

Jeho průběh ukazuje obrázek 3.

Efektivní hodnota střídavého proudu I , který teče ze střídavé sítě je

$$I = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (1.4)$$

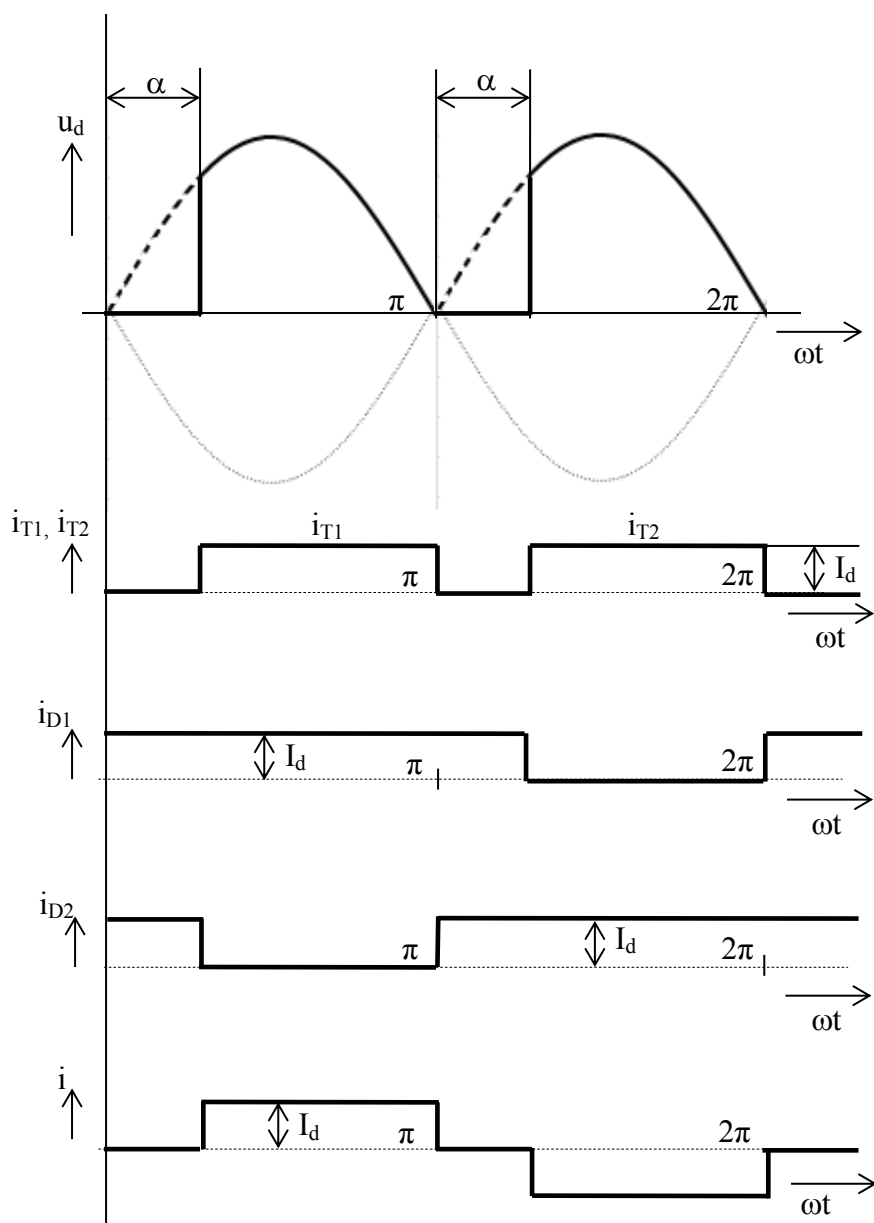
2.2.2. Nesymetrické zapojení

Analýza při: $L \sim \infty$, proudy jsou vyhlazené. Střídavý napájecí zdroj je ideální, čili bez vnitřní impedance. Polovodičové prvky jsou také ideální.

Označení okamžitých hodnot proudů na jednotlivých polovodičových součástkách: i_{T1} , i_{T2} , i_{D1} , i_{D2}

Okamžitá hodnota proudu tekoucí do usměrňovače ze střídavé sítě: i

Průběhy okamžitých hodnot důležitých veličin v průběhu jedné periody:



Obr. 4: Průběhy okamžitých hodnot proudů a napětí u jednofázového polořízeného usměrňovače v nesymetrickém zapojení

Změnou polarity střídavého napájecího napětí dochází ke komutaci proudu z T_1 na diodu D_2 v okamžiku π a z T_2 na diodu D_1 v okamžiku 2π . Po přivedení řídicího impulsu na přebírající tyristor dochází ke komutaci proudu z diody D_1 na tyristor T_2 v místě $\pi + \alpha$ a z diody D_2 na tyristor T_1 v okamžiku α . Ve všech čtyřech komutacích během jedné periody vzniká vždy zkrat. Střídavé napájecí napětí u je napětím komutačním, zajišťuje předávání proudu z jednoho prvku na druhý.

Střední hodnota usměrněného napětí U_d má velikost danou vztahem

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{\pi} U_m (1 + \cos \alpha) \quad (1.5)$$

Pozn: stejná rovnice jako u zapojení symetrického

Střední hodnota proudu tyristory T_1 a T_2 je stejná, $I_{dT1} = I_{dT2} = I_{dT}$, a má hodnotu

$$I_{dT} = \frac{1}{2\pi} (\pi - \alpha) \cdot I_d \quad (1.6)$$

Střední hodnota proudu diodami D_1 a D_2 je také totožná, $I_{dD1} = I_{dD2} = I_{dD}$, a má velikost

$$I_{dD} = \frac{1}{2\pi} (\pi + \alpha) \cdot I_d \quad (1.7)$$

Vztahy (1.6) a (1.7) říkají, že zatížení polovodičových prvků není rovnoměrné a závisí na řídicím úhlu α . Pouze při řídicím úhlu $\alpha=0$ je proudové zatížení všech prvků stejné.

Průběh okamžité hodnoty proudu i , který teče do usměrňovače ze střídavé napájecí sítě, je určen rozdílem okamžitých hodnot proudu, který teče tyristorem T_1 a tyristorem T_2 nebo rozdílem proudu protékající diodou D_1 a diodou D_2 .

Platí $i = i_{T1} - i_{T2}$ nebo $i = i_{D1} - i_{D2}$.

Jeho průběh ukazuje obrázek 4.

Efektivní hodnota střídavého proudu I , který teče ze střídavé sítě je

$$I = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (1.8)$$

Pozn: stejná rovnice jako u zapojení symetrického

2.3. Význam a použití polořízených usměrňovačů

U polořízených můstků není možný střídačový chod, dvojkvadrantový síťový měnič se stává jednokvadrantovým, který umožňuje jen usměrňovačový chod. Vyplyvá to z toho, že v polořízeném můstku se použitím diod vytvářejí obvody analogické u obvodu s nulovou diodou, které nedovolují, aby usměrněné napětí mohlo být záporné, jak to požaduje střídačový chod měniče. V těchto měničích s polořízeným můstkem se zlepšuje účinnost první harmonické proudu a tedy mají tyto můstky menší jalový výkon.

Jaký význam má použití polořízených usměrňovačů jednoznačně vyplývá z předcházejících úvah a zejména z průběhů okamžitých hodnot důležitých veličin, které znázorňuje obrázek 3 a obrázek 4.

- polořízené usměrňovače jsou jednodušší a levnější
- nedovolují, aby okamžitá hodnota stejnosměrného napětí u_d nabývala i záporných hodnot, čímž se zmenšuje střídavá složka výstupního napětí a činitel tvaru k_t má menší hodnotu
- ve vztahu k napájecí střídavé síti, použitím polořízených usměrňovačů, zlepšujeme účinek odebírané energie ze sítě
- polořízené usměrňovače neumožňují invertorový chod usměrňovače, je-li zátěží polořízeného usměrňovače stejnosměrný motor, nelze jej brzdit rekuperací do sítě.

3. Simulační programy

3.1. Matlab

Název MATLAB vznikl z anglického MATrix LABoratory. MATLAB byl napsán, aby poskytoval jednoduchý přístup k matematickým knihovnám vyvinutým v projektech LINPACK a EISPACK. Byl původně určen pro operační systém UNIX a tato okolnost se dodnes i v prostředí Windows projevuje ve velmi jednoduchém základním komunikačním rozhraní.

MATLAB je vysoce výkonný jazyk pro technické výpočty. Integruje výpočty, vizualizaci a programování do jednoduše použitelného prostředí, kde problémy i řešení jsou vyjádřeny v přirozeném tvaru.

Jako samotné rozšíření MATLABU existuje **SIMULINK** – časové řešení soustavy nelineárních diferenciálních rovnic s grafickým zadáváním řešené soustavy připomínajícím zapojení na analogovém počítači. Umožňuje graficky sledovat průběhy veličin v libovolném místě zapojení. Používá se např. pro simulaci dynamického chování sledovaného systému. [3]

3.2. Simulink

Simulink je především určen na časové řešení (simulací) chování dynamických systémů. Lze s jeho pomocí určit časové průběhy výstupních veličin (a všech ostatních) v závislosti na časovém průběhu veličin vstupních a počátečním stavu. Popis soustavy může být značně rozsáhlý a složitý. Může obsahovat i algebraické rovnice a vzorkované diskrétní výpočty.

Vzhledem k třídě problémů, na řešení kterých je SIMULINK určený, se u uživatele předpokládají alespoň základní znalosti v oblasti matematického modelování a simulace.

Přístup k návrhu zápisu problému silně připomíná návrh zapojení pro analogový počítač. Co zaujme na první pohled, je grafický způsob zápisu – v terminologii SIMULINKu nazývaný model. Z nabídky příslušné knihovny se přetahují výkonné bloky a pak se pospojují odpovídající vstupy a výstupy (signály). [3]

3.3. OrCad

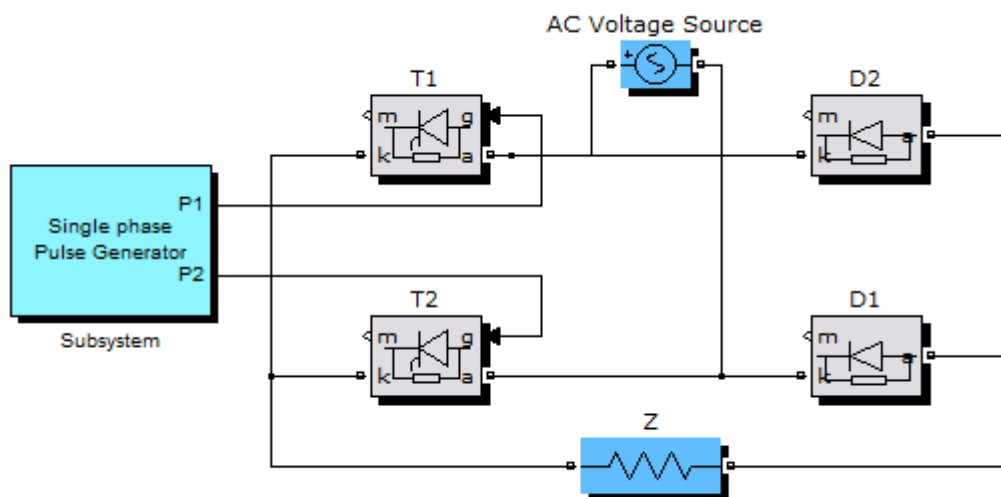
Program Spice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) byl vyvinut na universitě v Berkley v Kalifornii. PSpice je komerční verze registrovaná ochrannou známkou OrCAD Corporation. OrCAD Capture je ucelený balík nástrojů pro návrh elektronických schémat včetně využití možnosti přechodu do jiných systémů jako např. návrh plošných spojů, analogové a číslicové simulace a návrh programovatelných obvodů. Základním pilířem návrhu schématu jsou knihovny schématických značek součástek a symbolů. S ohledem na to, že elektronický průmysl nabízí neustále nové typy součástek, je možné knihovny plynule doplňovat a obměňovat.

Vlastní návrh elektronického schématu spočívá ve vyvolání schématických značek z knihovny jejich umístění na pracovní ploše a propojení jejich vývodů. ORCAD Capture umožňuje i hierarchický návrh a různé techniky propojování pomocí vodičů (sběrnice, návěští, napájecí symboly). Kromě výstupů pro náročné analogové a číslicové simulace umožňuje program i účinnou kontrolu návrhových pravidel, která odhalí formální chyby obvodů (nezapojené vstupní piny, výstupní piny zapojené na napájení apod.). Výstupem z návrhu může být tisk schématu na tiskárně, seznamu použitých součástek, různé typy souborů dat v různých formátech umožňující další zpracování schématu (netlist pro generaci plošného spoje, simulaci apod.). [2]

4. Sestavení simulačního modelu - Matlab Simulink

4.1. Základní schéma

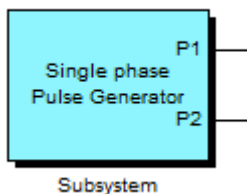
Příklad uvedení symetrického zapojení bez specifikace zátěže zobrazuje obrázek 5. Schéma (zapojení) obsahuje diody *D1* a *D2*, tyristory *T1* a *T2*, generátor pulsů pro tyristory (Single phase Pulse Generator), zdroj střídavého napětí (AC Voltage Source) a samotnou zátěž *Z* (později R,L a RL).



Obr. 5: Symetrické zapojení polořízeného usměrňovače v Matlabu Simulink pomocí bloků z knihovny SimPowerSystems.

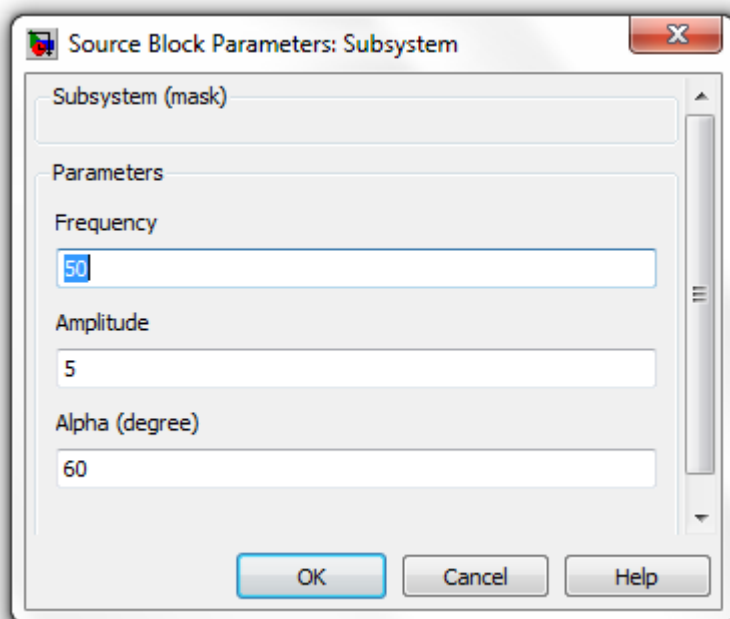
4.2. Nastavování parametrů součástek a jejich bloky

4.2.1. Generátor pulsů pro tyristory (Single phase Pulse Generator)



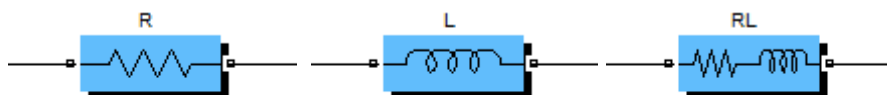
Obr. 6: Schématická značka generátoru pulsů (Simulink knihovna SimPowerSystems)

Řídicí blok generátoru pulsů pro tyristory je uveden na obrázku 7. Základní parametry, které se zde zadávají je frekvence, v našem případě 50Hz, amplituda 20 a řídicí úhel α (Alpha). V našem případě příklad 60°. U polořízeného usměrňovače jsou tyristory dva, pak nastavíme z generátoru dva výstupy P1 a P2.



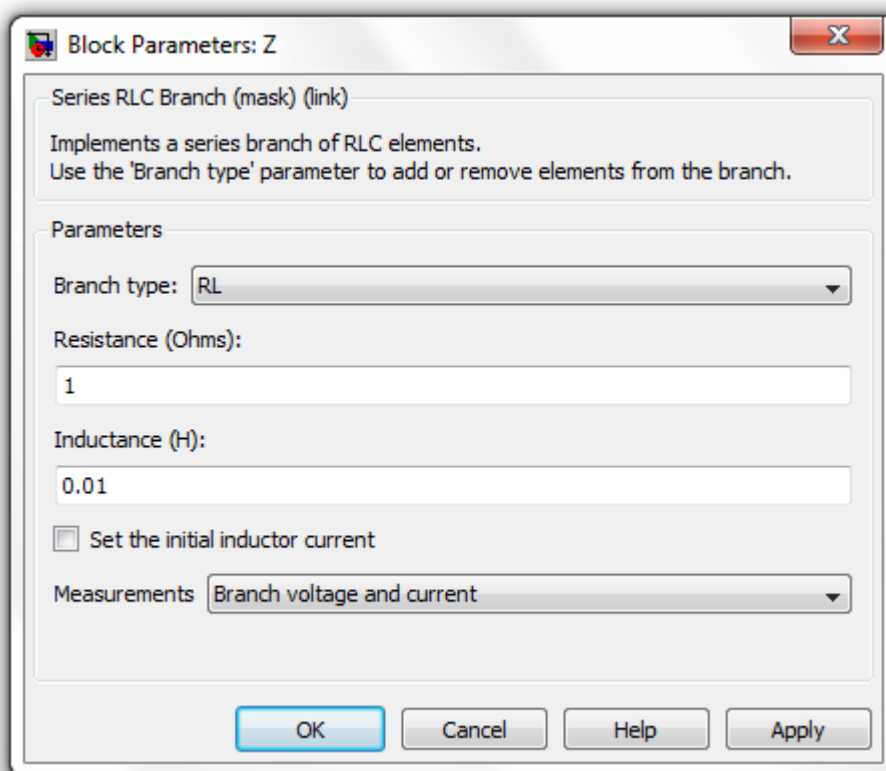
Obr. 7 : Nastavování parametrů v řídicím bloku pulsního generátoru (Matlab Simulink)

4.2.2. Zátěž



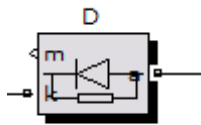
Obr. 8 : Schématická značka R, L a RL zátěže (Simulink knihovna SimPowerSystems)

V Simulinku v knihovně SimPowerSystems lze použít blok pro zátěž RLC, kde lze v bloku parametrů na obrázku 9 měnit samotný druh zátěže (Branch type). Nastavujeme hodnotu odporu (Resistance) a hodnotu indukčnosti (Inductance) v základních jednotkách Si.



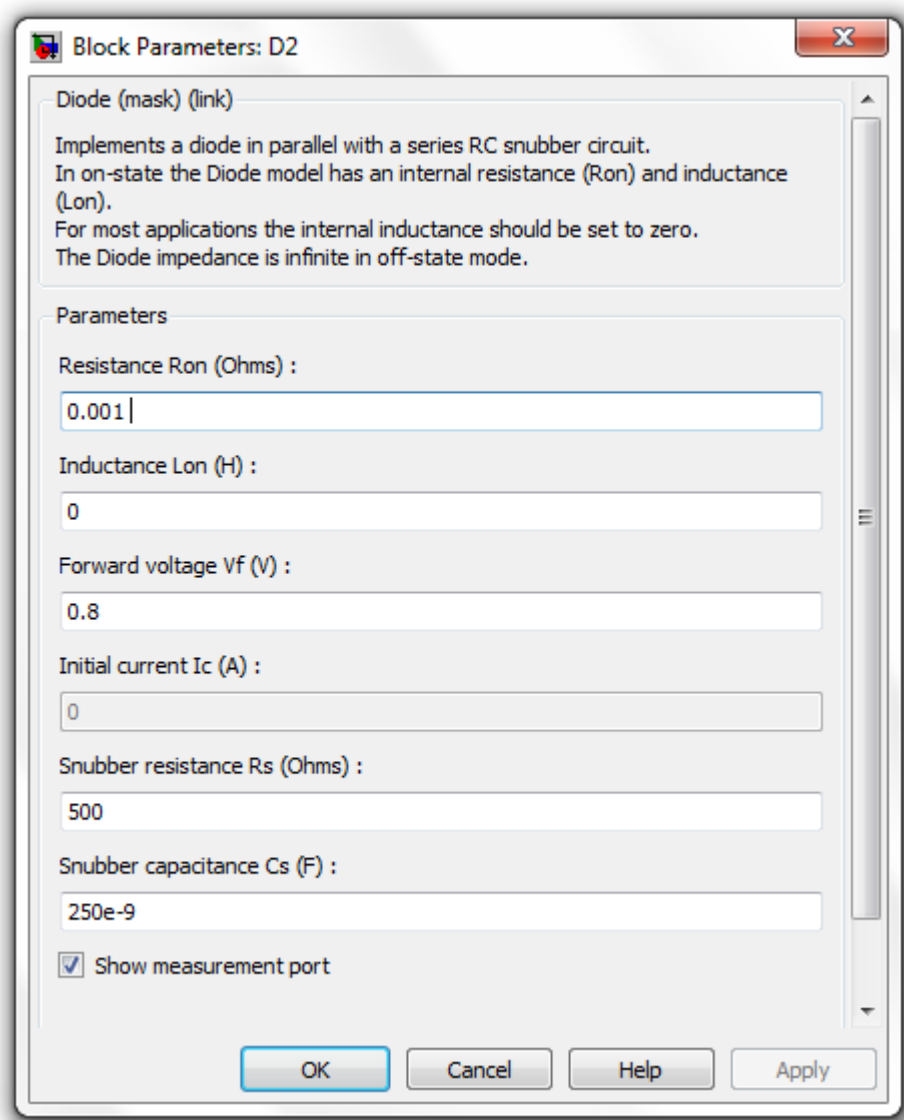
Obr. 9 : Nastavování parametrů v řídicím bloku RL zátěže (Matlab Simulink)

4.2.3. Dioda



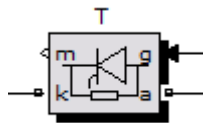
Obr. 10 : Schématická značka diody (Simulink knihovna SimPowerSystems)

Popis: Vstupy do bloku *a* - anoda, *k* - katoda, *m* - měřicí vstup pro voltmetr či ampérmetr (measurement). U diody se nastavuje v řídicím bloku na obrázku 11 v on-stavu vnitřní odpor (Resistance R_{on}) a indukčnost (Inductance R_{on}). Ve většině aplikací se nastavuje vnitřní indukčnost na nulu. Vnitřní impedance diody je nekonečná v off-stavu. Tlumící (Snubber) odpor a kapacita bývá většinou nastavena automaticky.



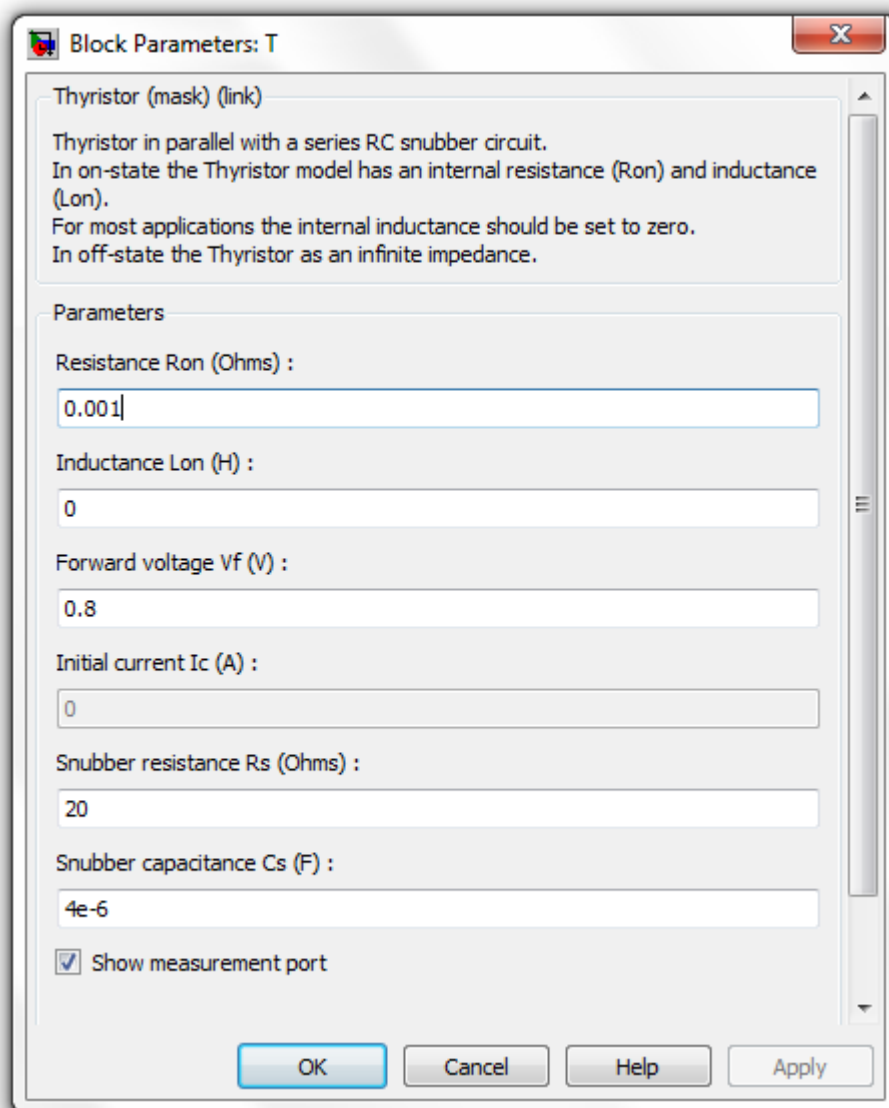
Obr. 11 : Nastavování parametrů v řídicím bloku diody (Matlab Simulink)

4.2.4. Tyristor



Obr. 12 : Schématická značka tyristoru (Simulink knihovna SimPowerSystems)

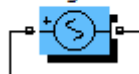
Popis: Vstupy do bloku: *a* - anoda, *k* - katoda, *g* - gate (vstup z generátoru pulsů), *m* - měřicí vstup pro voltmetr či ampérmetr (measurement). U tyristoru stejně jako u diody se v řídícím bloku na obrázku 13 nastavuje v on-stavu vnitřní odpor (Resistance R_{on}) a indukčnost (Inductance L_{on}). Ve většině aplikací se nastavuje vnitřní indukčnost na nulu. Vnitřní impedance tyristoru je nekonečná v off-stavu. Tlumicí (Snubber) odpor a kapacita bývá většinou nastavena automaticky.



Obr. 13 : Nastavování parametrů v řídícím bloku tyristoru (Matlab Simulink)

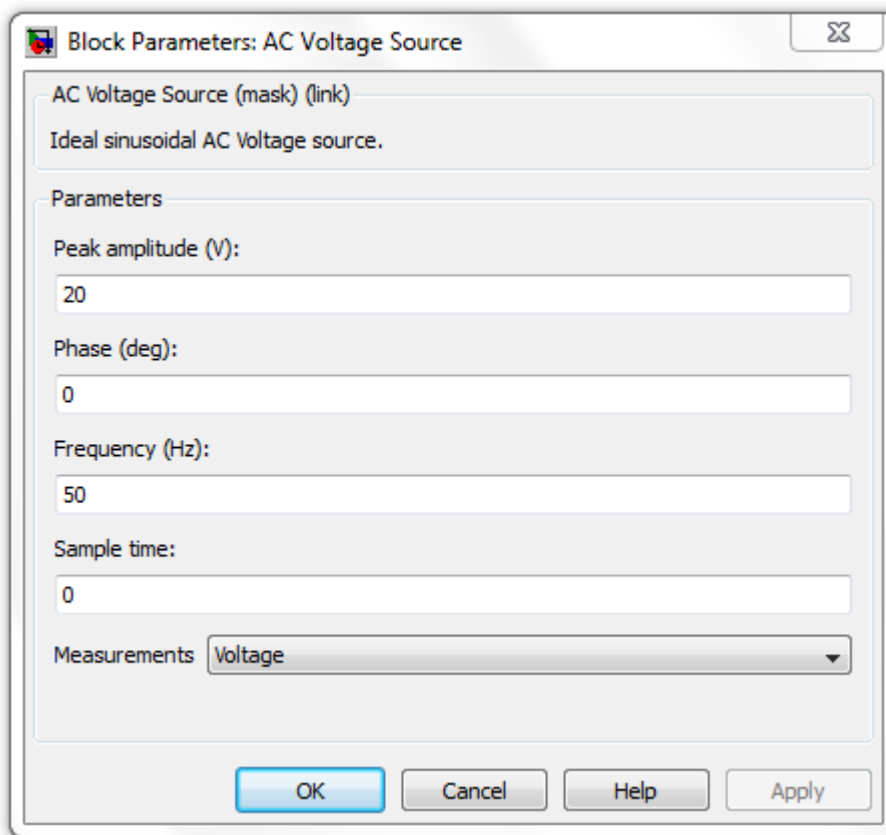
4.2.5. Zdroj AC napětí

AC Voltage Source



Obr. 14 : Schématická značka AC napěťového zdroje (Simulink knihovna SimPowerSystems)

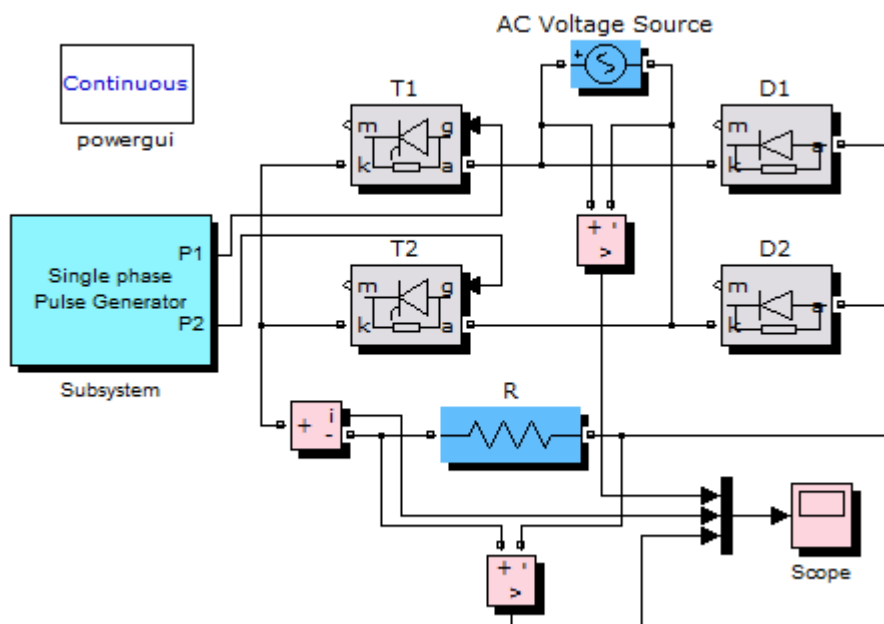
U napěťového zdroje se v řídicím bloku na obrázku 15 nastavuje frekvence a maximální amplituda (Peak amplitude). V našem případě 20 a měla by být stejná z důvodu stejných finálních výstupů a zobrazení do grafů. Vzorkování a fázi netřeba pro účely simulace usměrňovačů zadávat.



Obr. 15 : Nastavování parametrů v řídicím bloku AC napěťového zdroje (Matlab Simulink)

4.3. Schémata zapojení a výstupní grafy pro symetrické zapojení

4.3.1. Zátěž R (odporová)

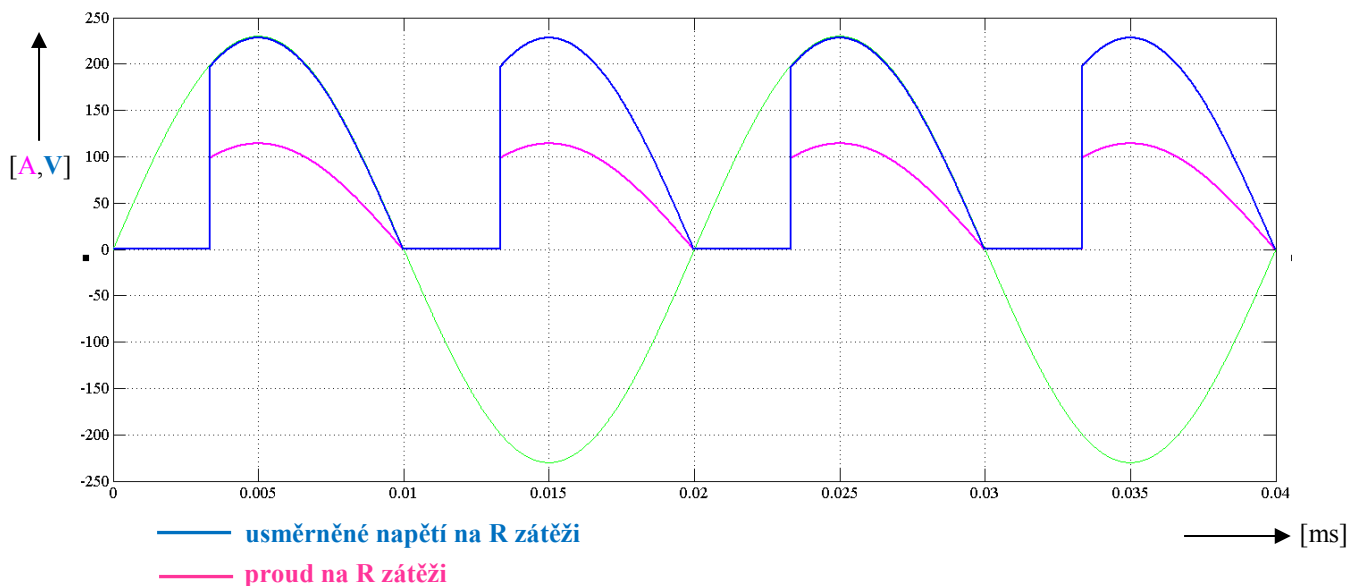


Obr. 16: Schéma zapojení pro R zátěž (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50\ \text{Hz}$, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V

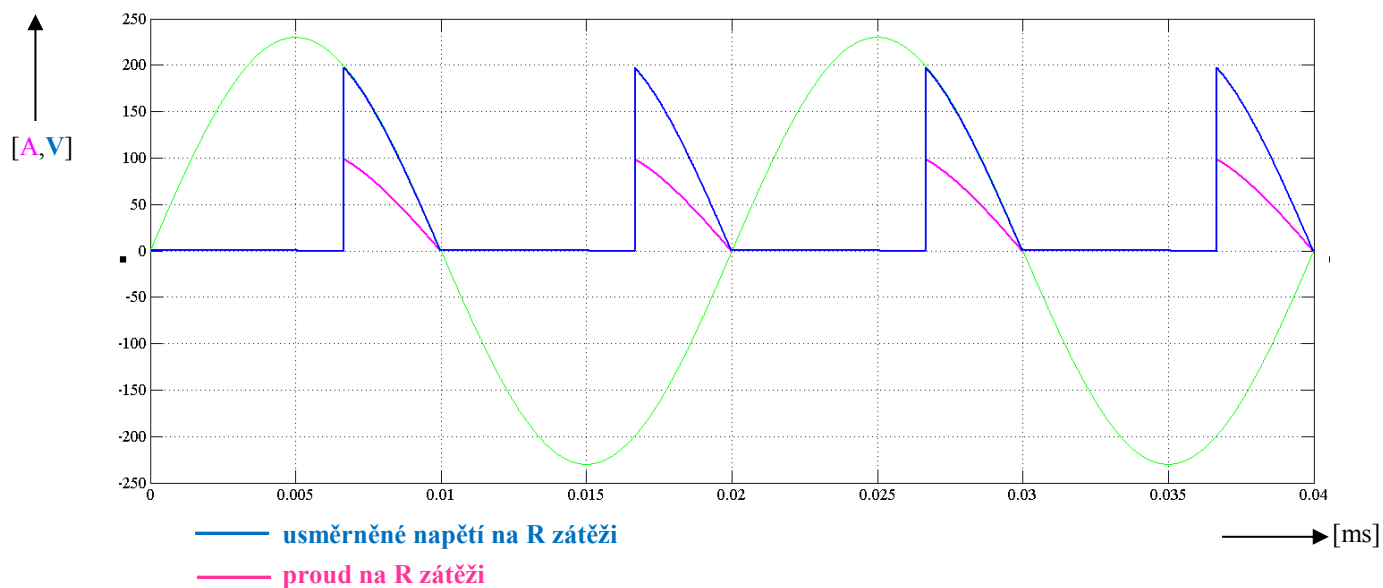


Obr. 17: Graf pro zapojení s R zátěží- řídicí úhel 60° (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

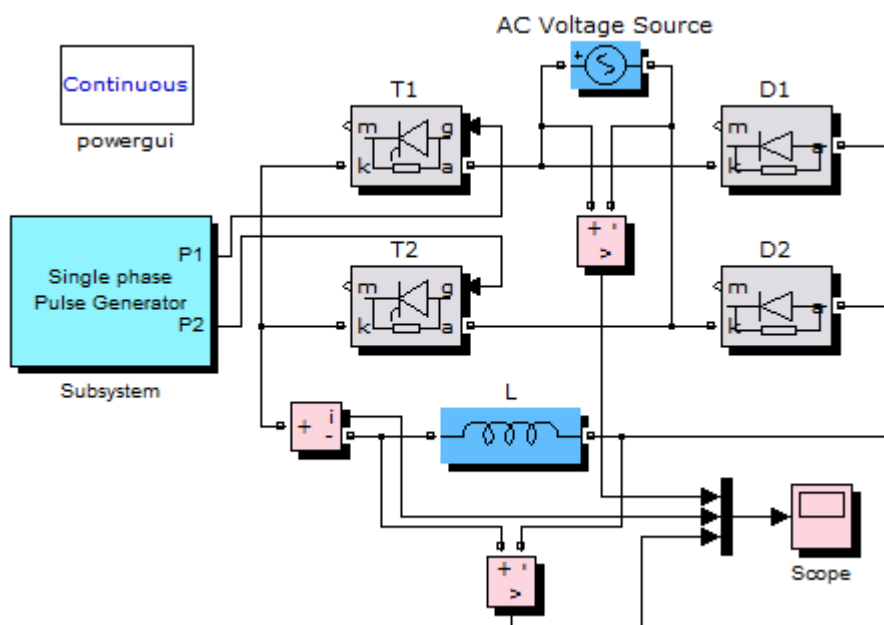
Zátěž $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50\ \text{Hz}$, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=120^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V



Obr. 18: Graf pro zapojení s R zátěží- řídicí úhel 120° (symetrické zapojení)

4.3.2. Zátěž L (induktivní)

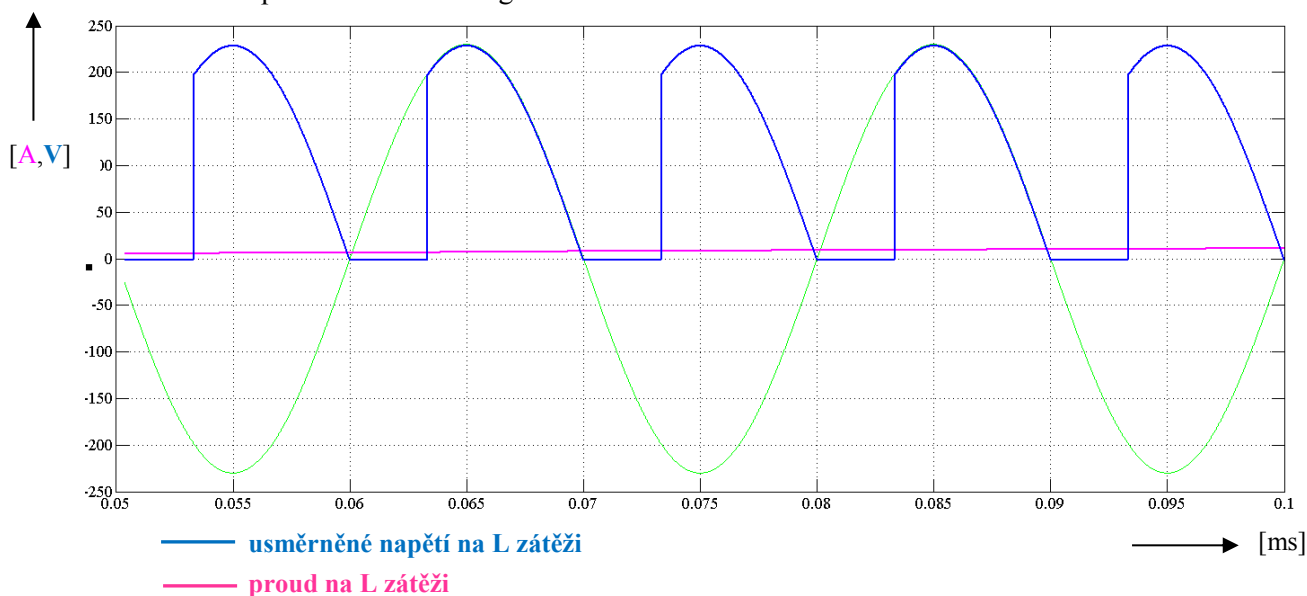


Obr. 19: Schéma zapojení pro L zátěž (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $L=1$ H, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V

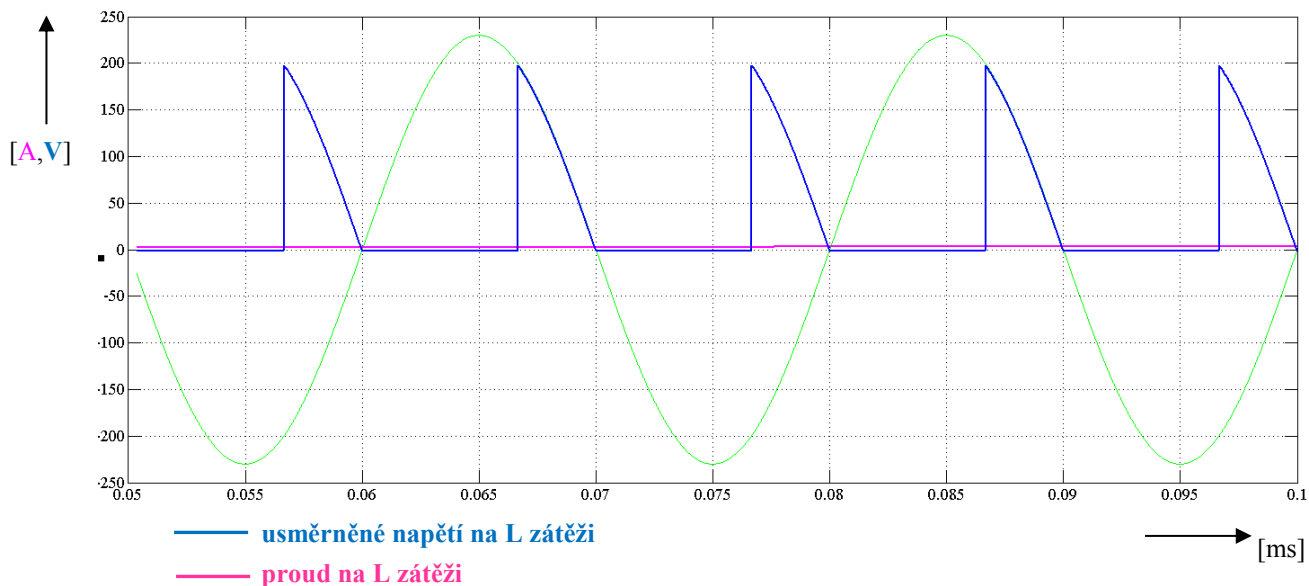


Obr. 20: Graf pro zapojení s L zátěží- řídicí úhel 60° (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

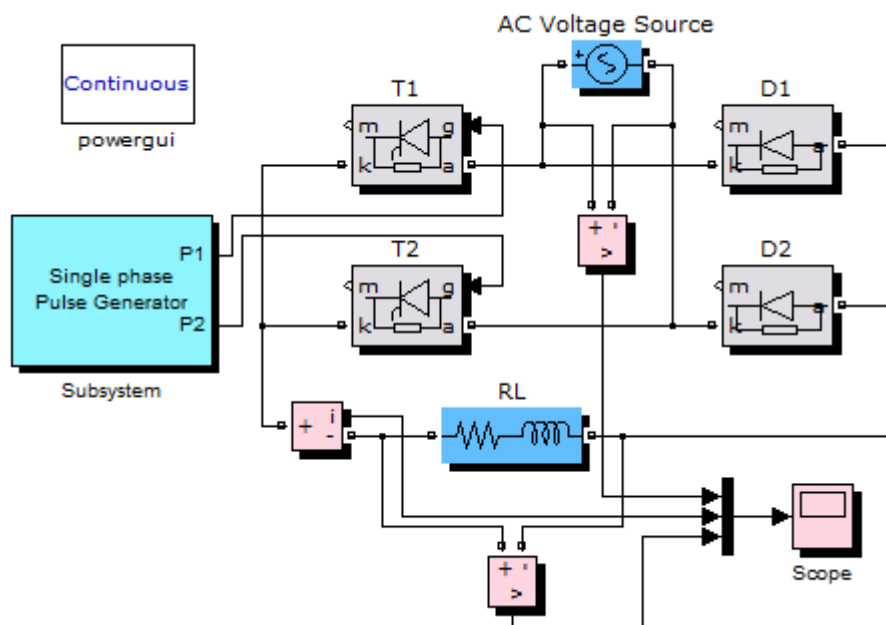
Zátěž $L=1$ H, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=120^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V



Obr. 21: Graf pro zapojení s L zátěží- řídicí úhel 120° (symetrické zapojení)

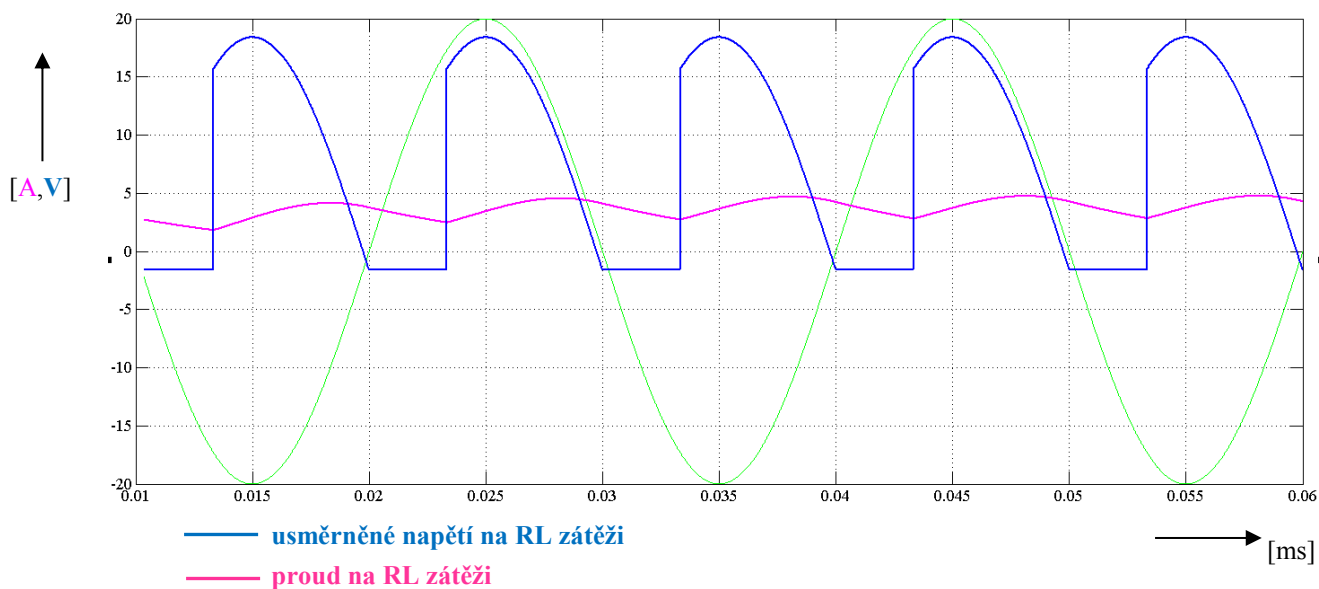
4.3.3. Zátěž RL (odporově induktivní)



Obr. 22: Schéma zapojení pro RL zátěž (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

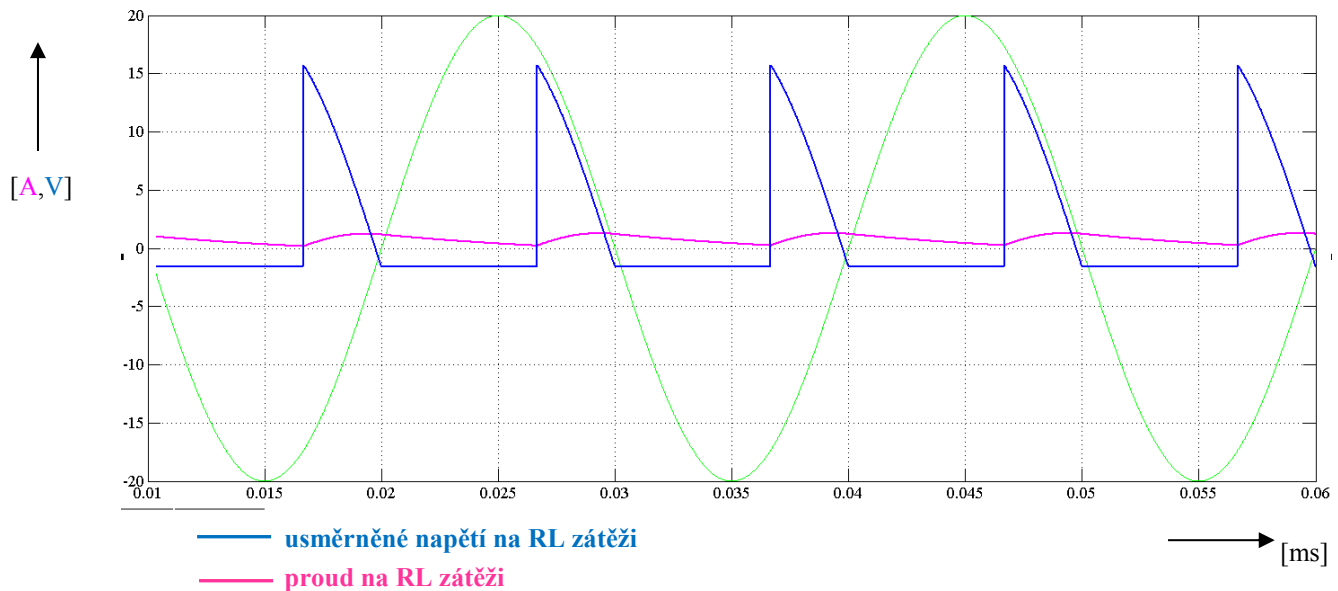
Zátěž $L=0,02$ H, $R=2$ Ω , generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$, Peak amplitude na AC Voltage Source = 20 V



Obr. 23: Graf pro zapojení s RL zátěží- řídicí úhel 60° (symetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

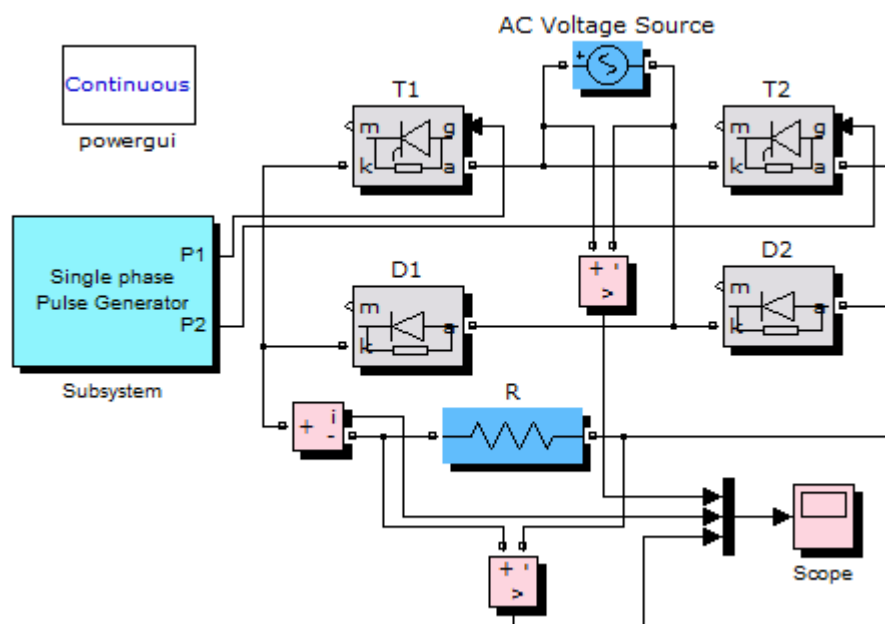
Zátěž $L=0,02$ H, $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20,
úhel řízení $\alpha=120^\circ$, Peak amplitude na AC Voltage Source = 20 V



Obr. 24: Graf pro zapojení s RL zátěží- řídicí úhel 120° (symetrické zapojení)

4.4. Schémata zapojení a výstupní grafy pro nesymetrické zapojení

4.4.1. Zátěž R (odporová)

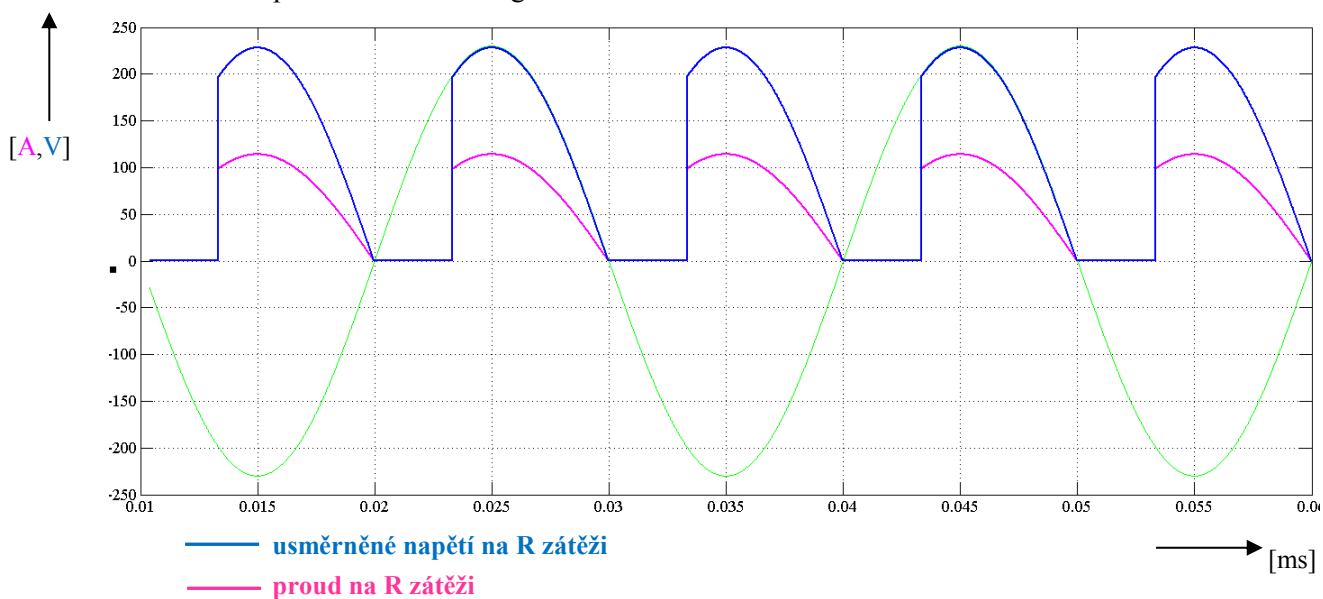


Obr. 25: Schéma zapojení pro R zátěž (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50\text{ Hz}$, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V

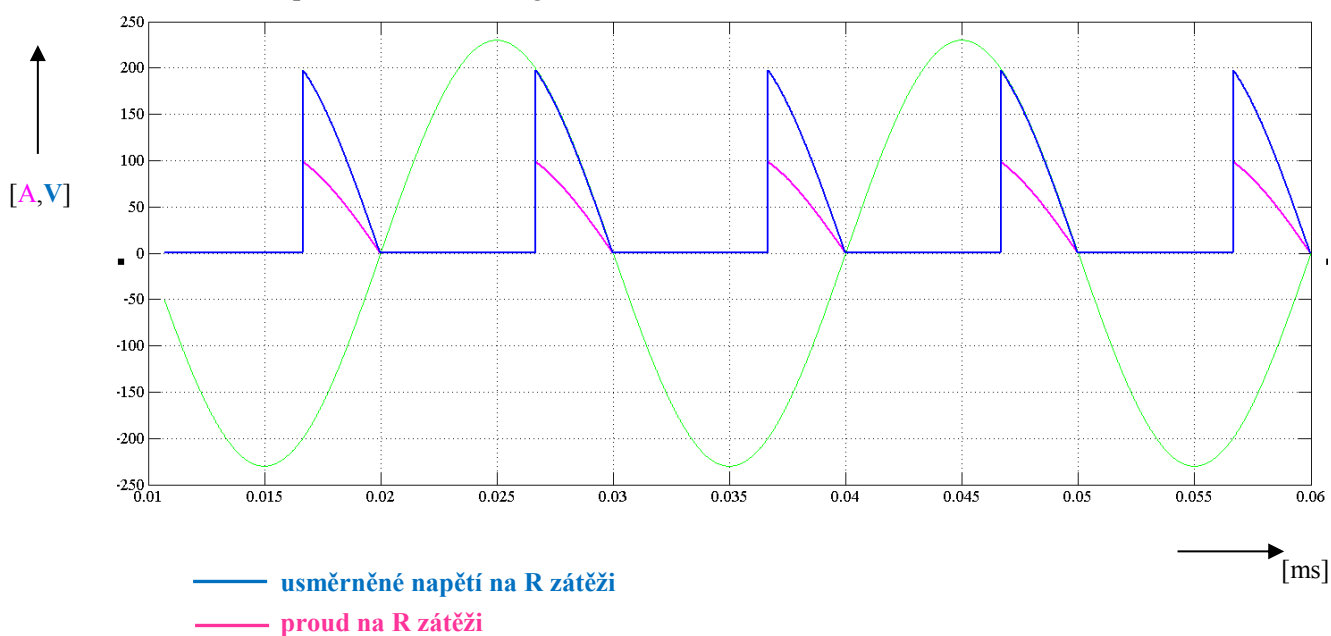


Obr. 26: Graf pro zapojení s R zátěží- řídicí úhel 60° (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

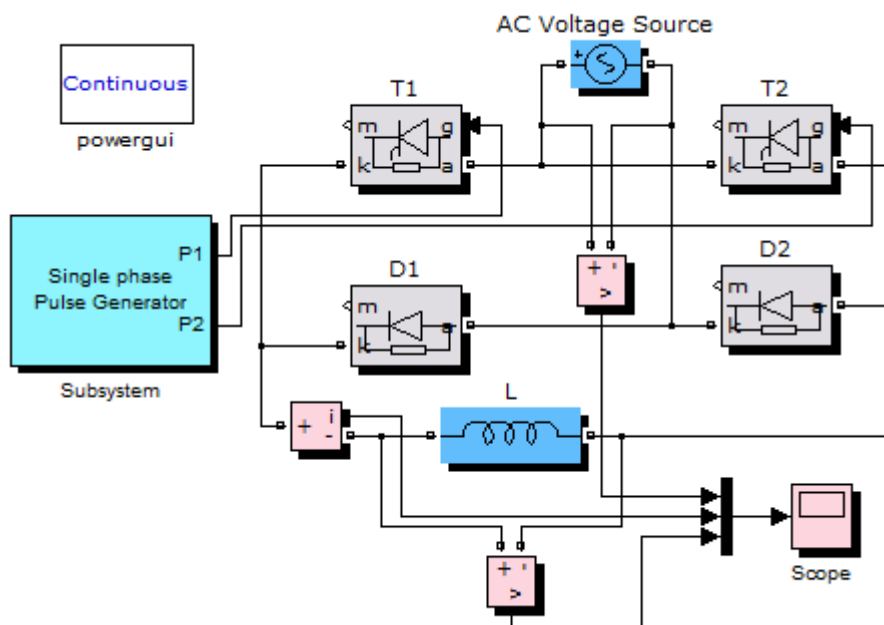
Zátěž $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50\text{ Hz}$, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=120^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V



Obr. 27: Graf pro zapojení s R zátěží- řídicí úhel 120° (nesymetrické zapojení)

4.4.2. Zátěž L (induktivní)

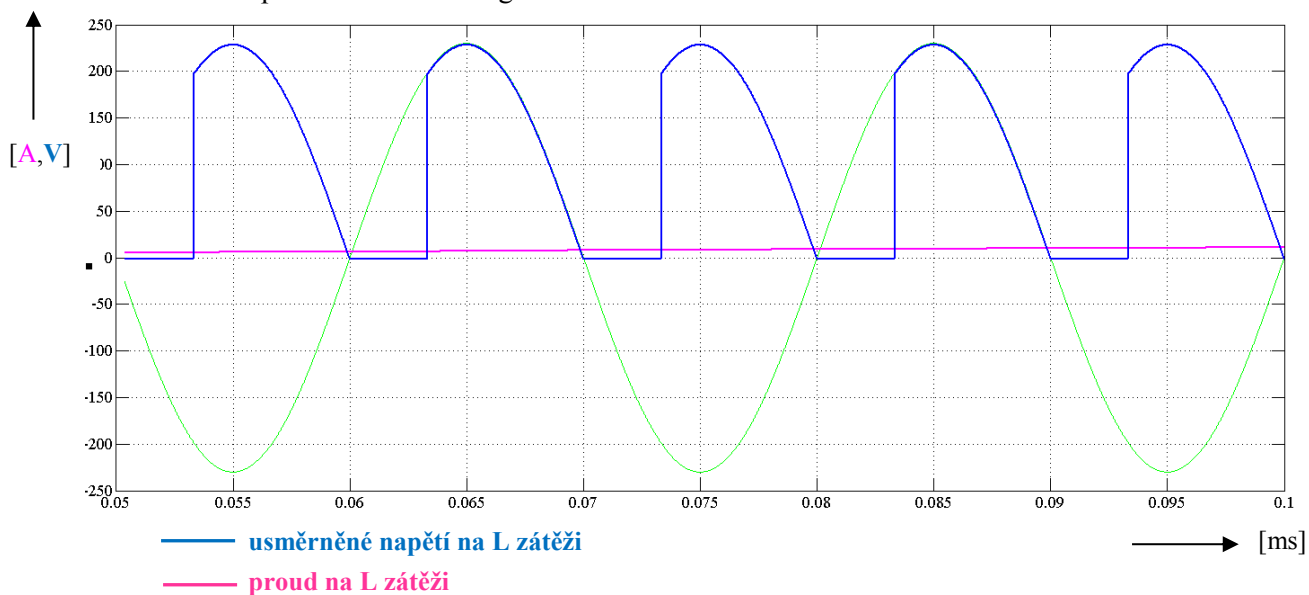


Obr. 28: Schéma zapojení pro L zátěž (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $L=1$ H, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V

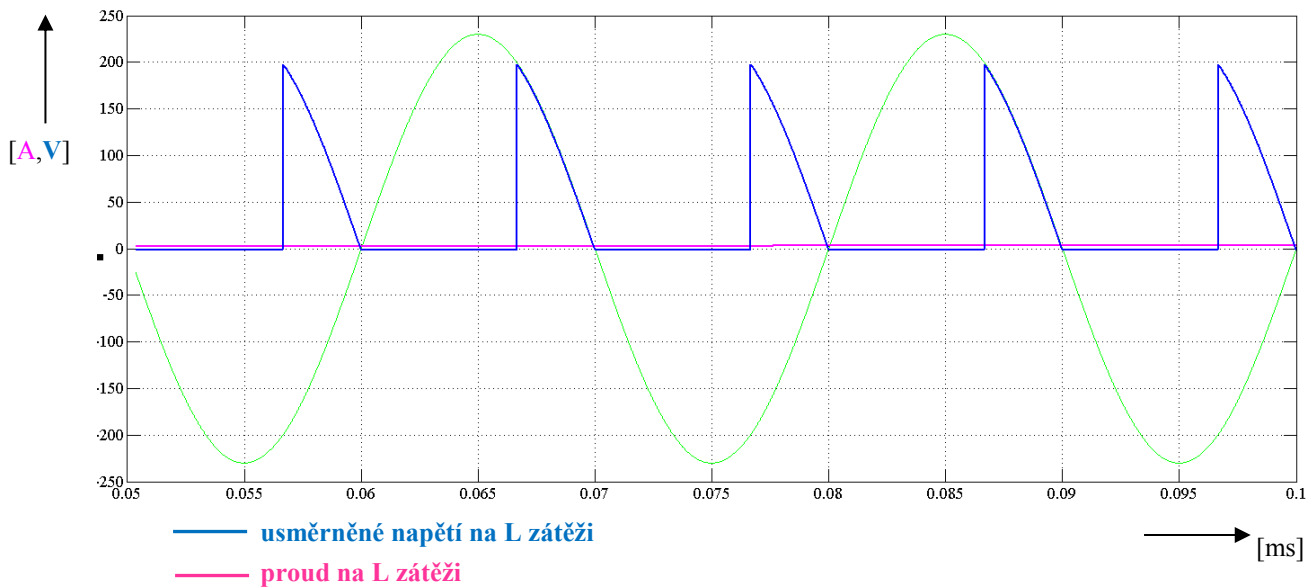


Obr. 29: Graf pro zapojení s L zátěží- řídicí úhel 60° (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

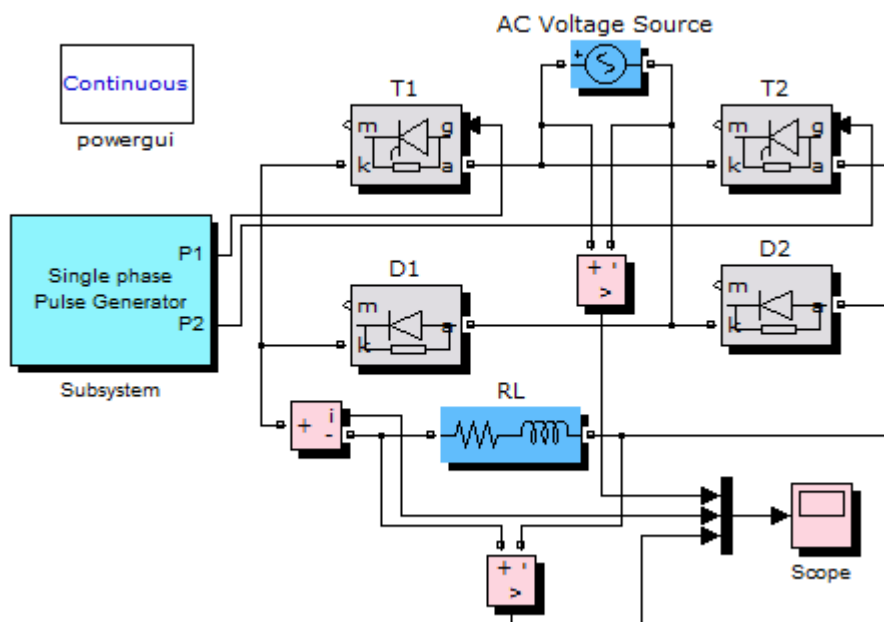
Zátěž $L=1$ H, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=120^\circ$,

Peak amplitude na AC Voltage Source = 230 V



Obr. 30: Graf pro zapojení s L zátěží- řídicí úhel 120° (nesymetrické zapojení)

4.4.3. Zátěž RL (odporově induktivní)

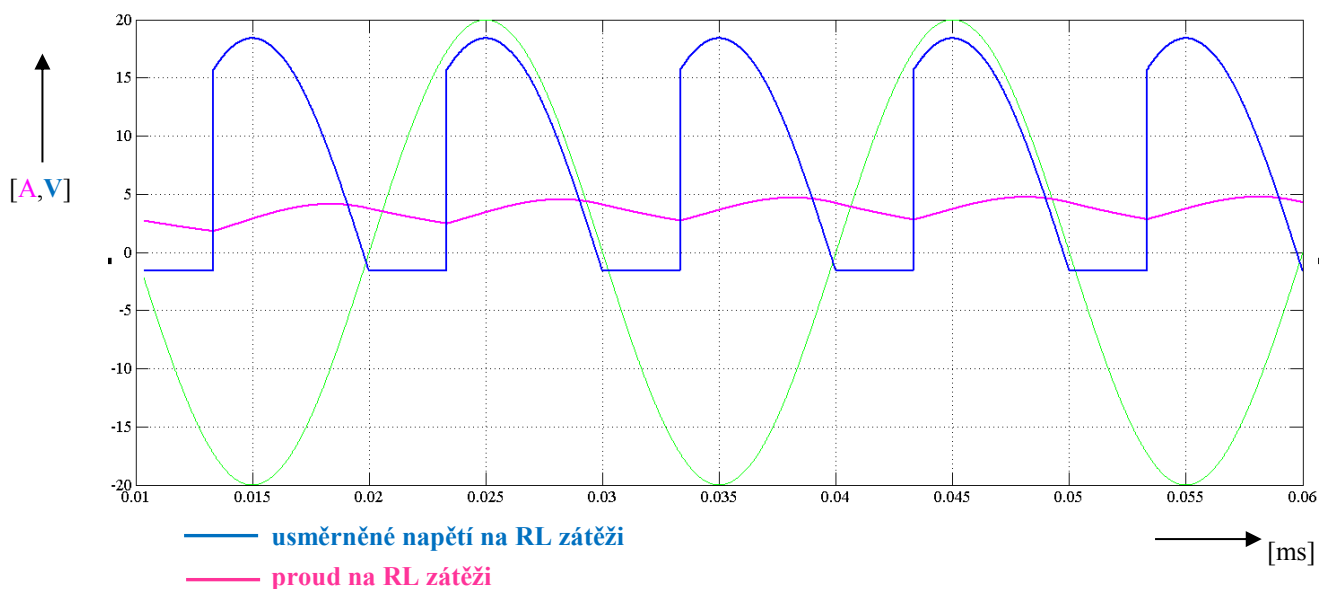


Obr. 31: Schéma zapojení pro RL zátěž (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $L=0,02$ H, $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20,

úhel řízení $\alpha=60^\circ$, Peak amplitude na AC Voltage Source = 20 V

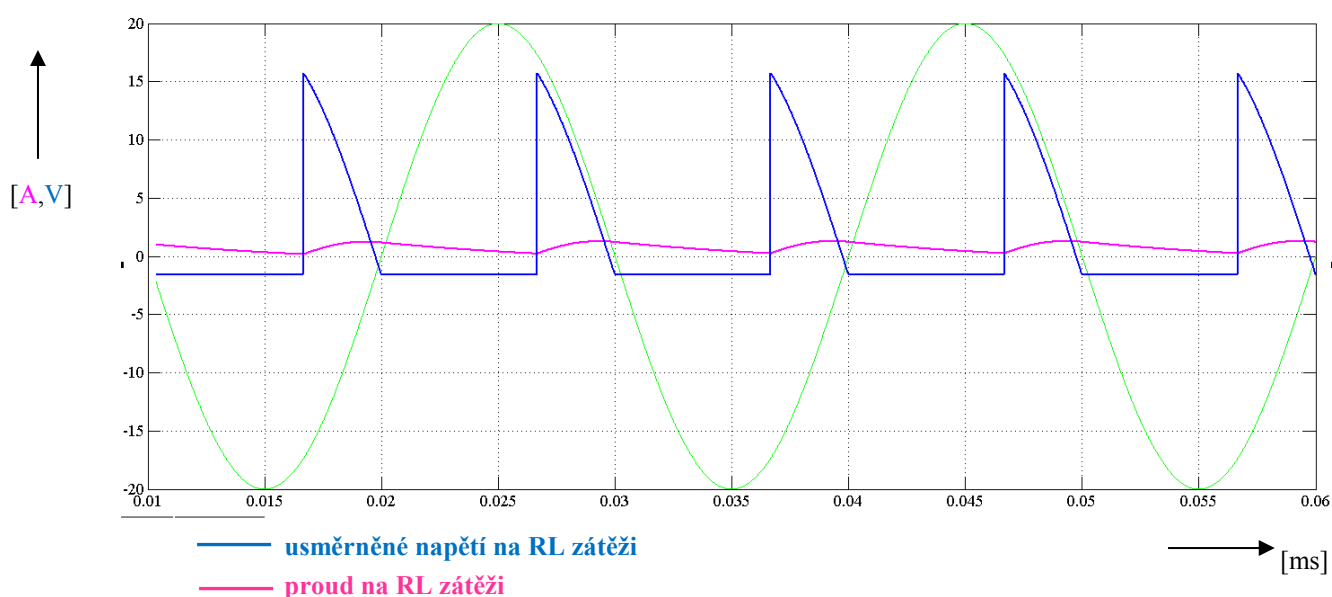


Obr. 32: Graf pro zapojení s RL zátěží- řídicí úhel 60° (nesymetrické zapojení)

Nastavené hodnoty v parametrech bloků:

Zátěž $L=0,02$ H, $R=2\ \Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50$ Hz, amplituda = 20,

úhel řízení $\alpha=120^\circ$, Peak amplitude na AC Voltage Source = 20 V



Obr. 33: Graf pro zapojení s RL zátěží- řídicí úhel 120° (nesymetrické zapojení)

4.5. Příklad simulace na konkrétním asynchroním motoru a usměrňovači

(simulace v laboratoři č.E103)

Popis částí a jejich parametry

Usměrňovač: SIMOREG 6RA24

Napájení výkonové a řídicí části: 400 V, 45 až 65 Hz

Jmenovité napětí kotvy: 420 V

Jmenovitý proud kotvy: 30 A

Jmenovité ss napětí buzení: 325 V

Jmenovitý ss proud buzení: 5 A

Rozsah pracovních teplot: 0 °C až 45 °C

Krytí: IP 00 [4]

Asynchronní motor: MEZ Brno

Typ: TTN 20 Ab

Výkon: 15 kW

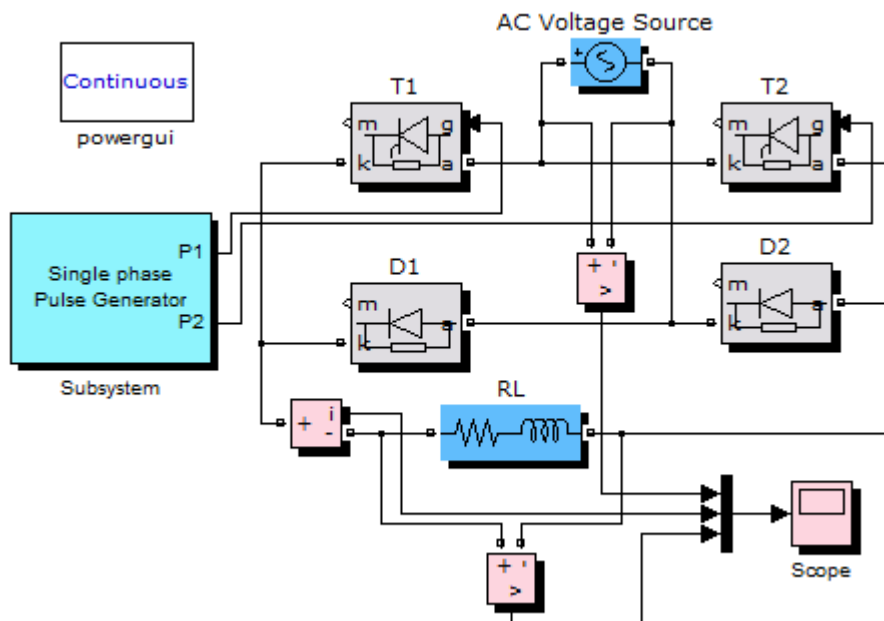
Jmenovitý proud: 37,5 A

Jmenovité napětí: 440 V

Otáčky: 28 až 2800 ot/min

Cizí buzení: 1 A, 190 V [4]

Změřené hodnoty: $R=162\ \Omega$, $L=35,5\ \text{H}$



Obr. 34: Schéma zapojení usměrňovače pro motor (RL zátěž) pomocí knihovny SimPowerSystems

Zadání:

Jak velký řídicí úhel se musí nastavit na generátoru řídicích impulzů, abychom dostali hodnotu usměrného proudu 1 A. Použijte hodnoty a parametry výše uvedeného motoru a usměrňovače.

Vypočítaný úhel nastavte v simulaci a zobrazte průběhy výstupních veličin.

Výpočet řídicího úhlu:

$$U_{d0} = U_m \frac{q}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} = 0,9 U_{ef} = 0,9 * 400 = 360 V$$

Pro vyhlazený proud: $U_{d\alpha} = R * I = 162 * 1 = 162 V$

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

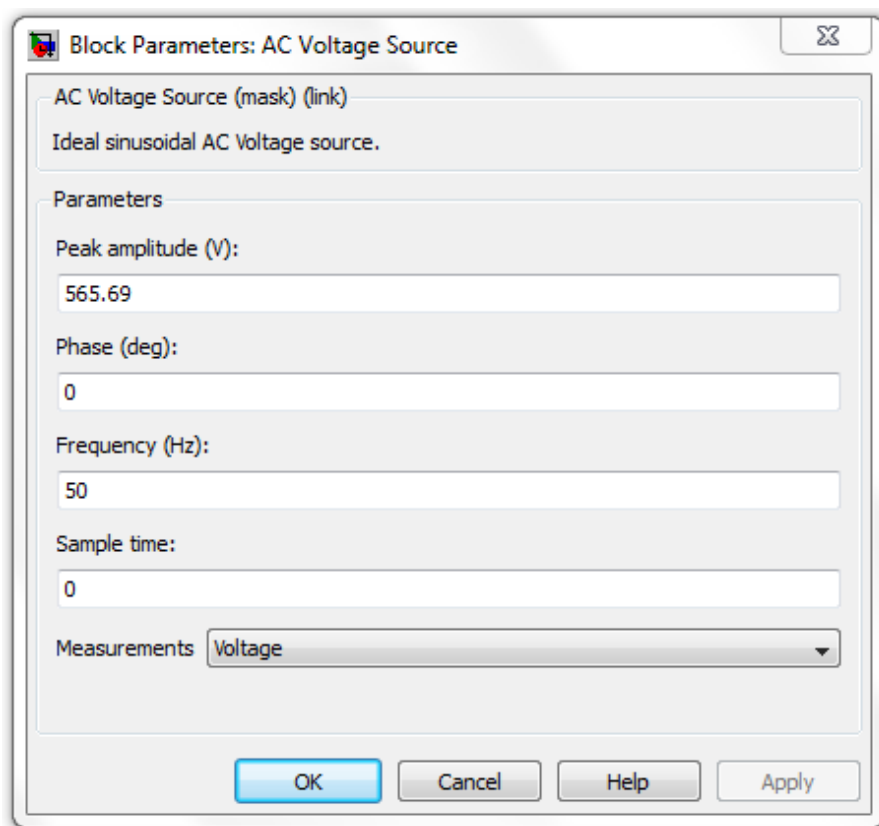
$$\Rightarrow 1 + \cos \alpha = 2 * \frac{U_{d\alpha}}{U_{d0}}$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = 2 * \frac{U_{d\alpha}}{U_{d0}} - 1 = 2 * \frac{162}{360} - 1 = -0,1$$

$$\Rightarrow \underline{\alpha=95,74^\circ}$$

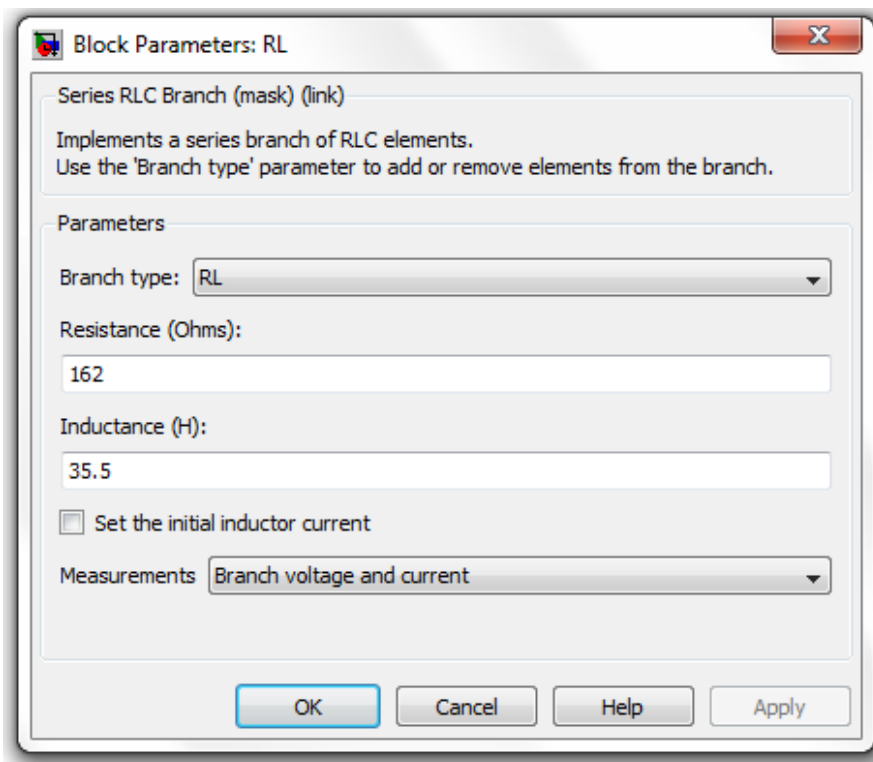
Nastavení součástek usměrňovače v parametrech bloků

$$\text{AC zdroj: } U_{ef} = 400 * \sqrt{2} = 565,69V$$



Obr. 35: Nastavení bloku zdroje střídavého napětí

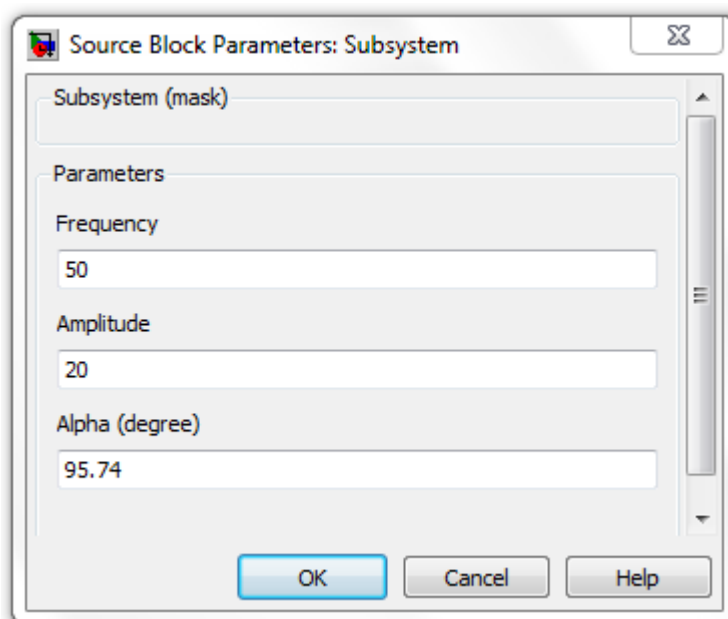
Zátěž: $R = 162 \, \Omega$, $L = 35,5 \, \text{H}$



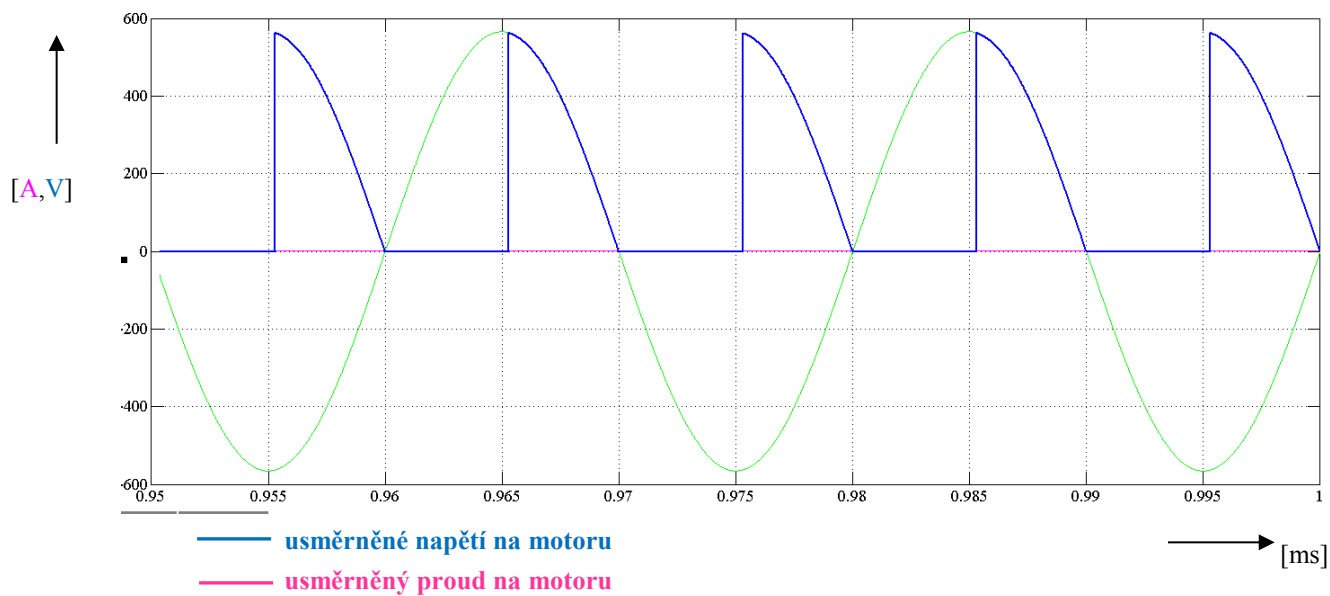
Obr. 36: Nastavení bloku zátěže - motoru

Výpočet časové konstanty: $\frac{L}{R} = \frac{35,5}{162} = 0,22\text{s}$; Do simulace volíme 5ti násobek cca 1s

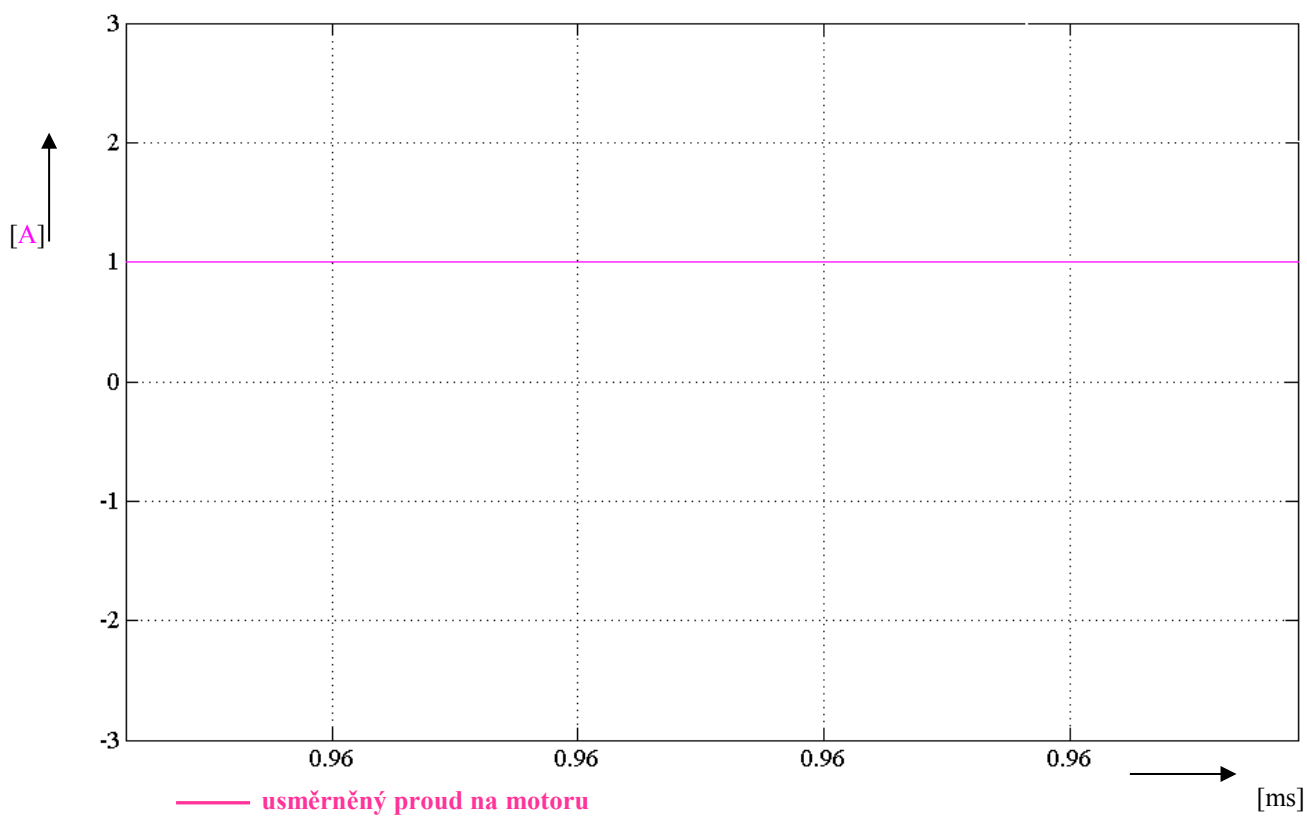
Nastavení odpovídajícího řídicího úhlu α na generátoru pulzů: $95,74^\circ$



Obr. 37: Nastavení bloku generátoru pulzů – nastavení řídicího úhlu



Obr. 38: Výstupní graf simulace pro konkrétní motor- vypočítaný řídicí úhel $95,74^\circ$



Obr. 39: Detail zobrazení průběhu usměrněného proudu na motoru (1 A)

5. Závěr

V této práci bylo hlavním úkolem zpracovat v programu Matlab Simulink, pomocí bloků SimPowerSystems simulační prostředí pro polořízené usměrňovače a simulovat činnost jednofázového usměrňovače, jak v symetrickém, tak i v nesymetrickém zapojení. Dalším úkolem bylo simulovat zapojení s více typy zátěží (R,L,RL) a pak je dále porovnávat s teorií a s dalším simulačním programem (OrCAD Capture).

Úkolem bylo i sledovat, jak se mění průběhy napětí a proud na více typech zátěží, když se mění řídicí úhel a typ zapojení usměrňovacího můstku jednofázového polořízeného usměrňovače. Veškeré průběhy průběhy na zátěži a úhly řízení (60° a 120°) jsou graficky zaznamenány.

V závěru práce byl v kapitole 4.5. připojen příklad řízení pro konkrétní zařízení, motor a usměrňovač. Byl vypočítán úhel řízení pro stanovený usměrněný proud a následně byly nastaveny řídicí bloky součástek dle daných a vypočítaných hodnot. Výstupní průběhy byly graficky znázorněny a tím bylo potvrzeno samotné zadání příkladu.

Srovnání obou zapojení:

Teorie:

Průběh usměrněného napětí vychází u obou variant **stejně**. Pokud tyto průběhy srovnáme s průběhy plně říditelného můstku při stejném úhlu řízení, zjistíme, že jsou v nich ořezány „záporné špičky“. Mezi výhody nesymetrického zapojení vůči symetrickému patří lepší regulační vlastnosti (hodnotu středního usměrněného napětí lze snižovat až na nulu). Nevýhodou proti tomu je nerovnoměrné proudové zatížení polovodičových součástek při $\alpha > 0$. [1]

Praxe:

Pro symetrické i nesymetrické zapojení jsou vzorce pro střední hodnotu usměrněného napětí U_d stejné. Pro symetrické zapojení platí vzorec (1.1) a pro nesymetrické zapojení (1.5).

Čili by měly být stejné i výstupní grafy. Jak jde shlédnout třeba na dvojici grafů z obrázku 17 a z obrázku 26, jsou průběhy totožné. Další dvojice stejných grafů: symetrické-nesymetrické, 18-27, 20-29, 21-30...

Porovnání s programem OrCAD:

Do programu OrCAD byly úmyslně zvoleny stejné parametry součástek a velikosti jednotlivých hodnot zátěže z důvodu porovnání s programem Matlab Simulink. Z průběhu grafů na obrázku 23 a na obrázku 2 z přílohy 1 je patrná shoda v zobrazení výstupních veličin. Na grafech jsou i jasně viditelné menší amplitudy napětí, které jsou způsobeny úbytky napětí na jednotlivých součástkách (na diodách a tyristorech).

6. Seznam použité literatury

- [1] Chlebiš, P.: *Výkonové polovodičové systémy*, skriptum VŠB Ostrava, 2005
- [2] Pavelek, T.: *Modelování a simulace elektronických systémů Část 1*, skriptum VŠB Ostrava, 2006
- [3] Dušek, F.: *Matlab a Simulink: úvod do používání*, skriptum Univerzita Pardubice, 2005
- [4] Neborák, I; Palacký, P; Sládeček, V; Vrána, V...: *Elektrické pohony – Syllaby do cvičení*, skriptum VŠB Ostrava, 2002
- [5] Sadílek, O.: *Měnič pro fázové řízení střední hodnoty ss napětí*, BP, Univerzita Pardubice, 2011

Přílohy:

Příloha 1 – porovnání symetrického zapojení na RL zátěží	II
Schéma sestavené v programu OrCAD	
Příloha 2 – porovnání nesymetrického zapojení s RL zátěží.....	IV
Schéma sestavené v programu OrCAD	
Příloha 3 – měření proudů na jednotlivých součástkách.....	VI
OrCad -symetrické zapojení (diody, tyristory)	

Příloha 1

Schéma sestavené v programu OrCAD: symetrické zapojení

Pro porovnání s programem Matlab Simulink, bylo vybráno zapojení totožné z článku 4.3.3.

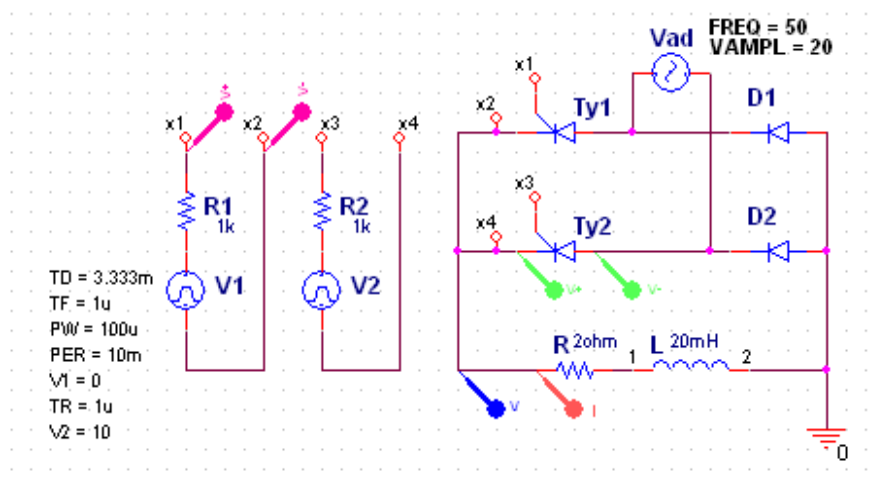
Použité součástky:

Vad	VSIN.Normal: frekvence = 50Hz, VAMPL = 20
V1	VPULSE.Normal 1: PER=10ms, TF,TR=1 μ s, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R1	R.Normal : R= 1k Ω
V2	VPULSE.Normal 2: PER=10ms, TF,TR=1 μ s, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R2	R.Normal : R= 1k Ω
Ty1	2N1595.Normal
Ty2	2N1595.Normal
D1	MUR5005.Normal
D2	MUR5005.Normal
R	R.Normal : R= 2 Ω
L	L.Normal : L = 20mH

Zátěž RL (odporově induktivní)

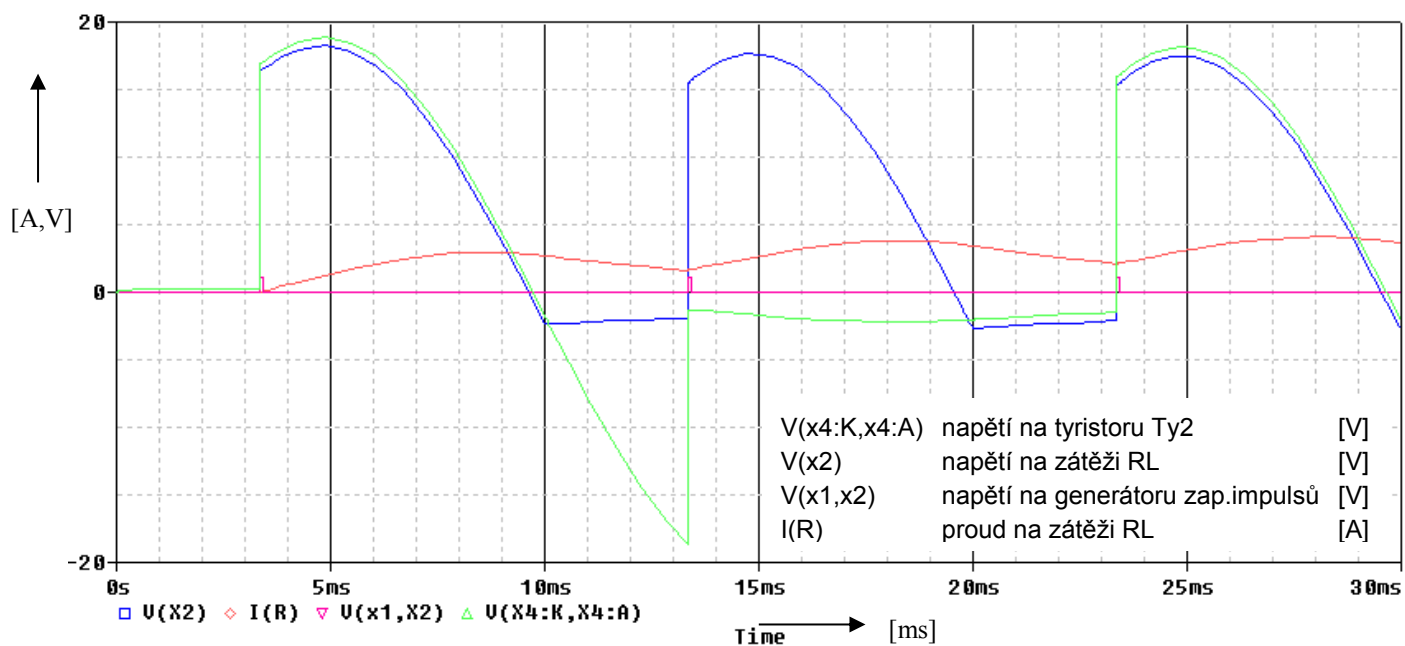
Nastavené hodnoty :

Zátěž L=0,02H, R=2 Ω , generátor pulzů frekvence f=50Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$, střídavé napětí na AC Voltage Source = 20V

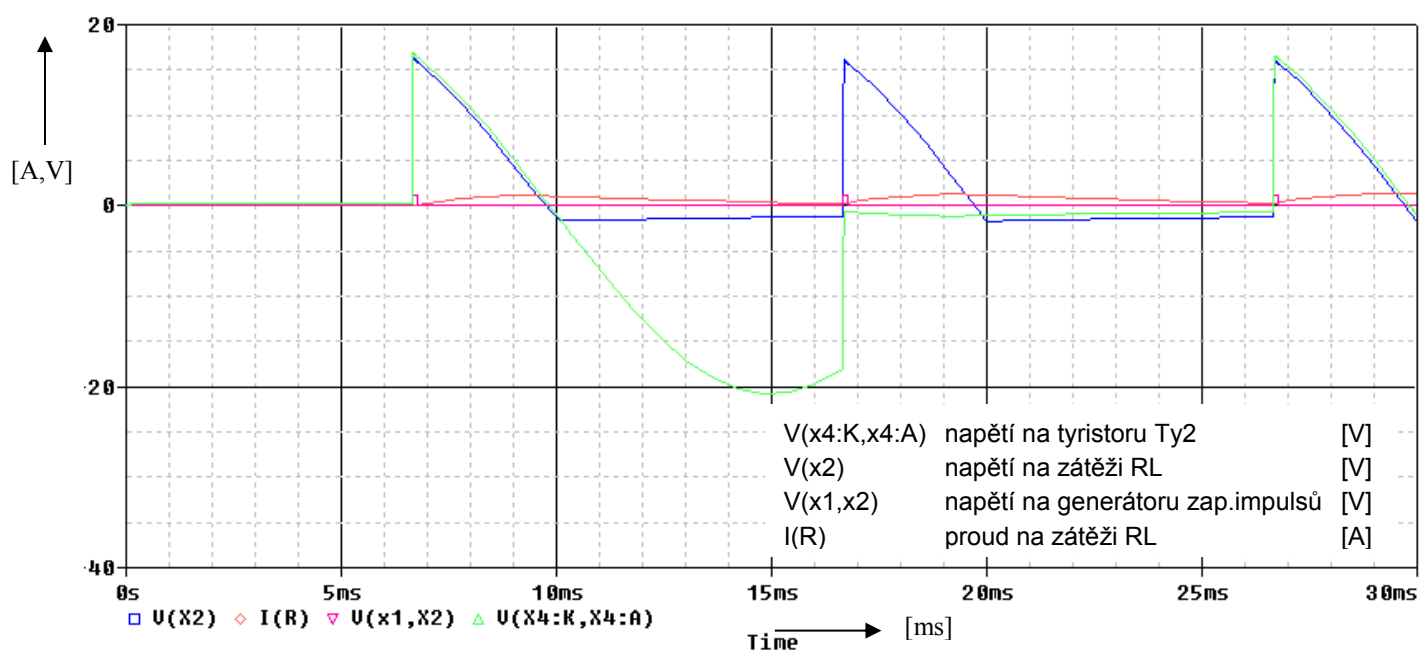


Obr. 1: Schéma zapojení pro RL zátěž (symetrické zapojení)

Příloha 1



Obr. 2: Graf průběhů napětí a proudu zátěže RL pro řídicí úhel 60° (symetrické zapojení)



Obr. 3: Graf průběhů napětí a proudu zátěže RL pro řídicí úhel 120° (symetrické zapojení)

Příloha 2

Schéma sestavené v programu OrCAD: nesymetrické zapojení

Pro porovnání s programem Matlab Simulink, bylo vybráno zapojení totožné z článku 4.4.3.

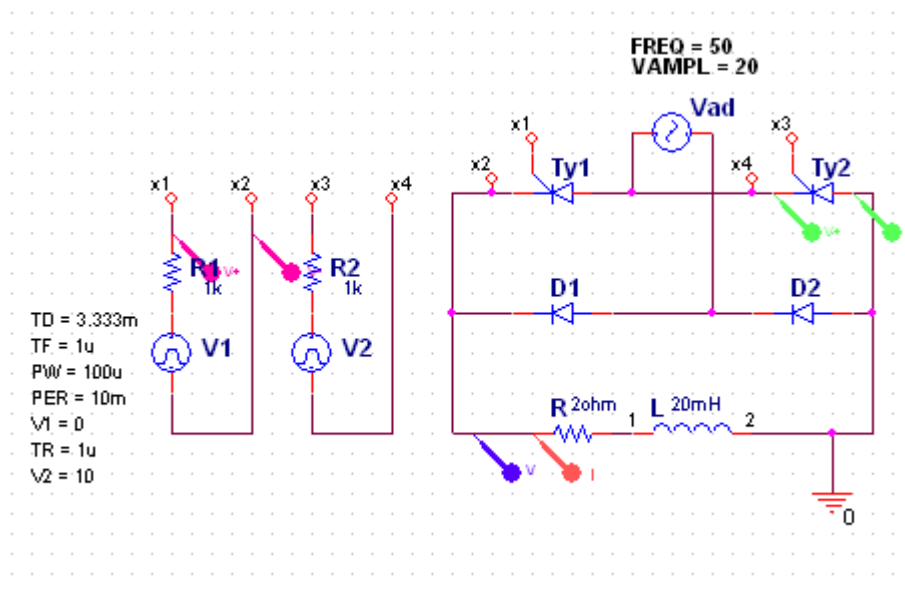
Použité součástky:

Vad	VSIN.Normal: frekvence = 50Hz, VAMPL = 20
V1	VPULSE.Normal 1: PER=10ms, TF,TR=1μs, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R1	R.Normal : R= 1kΩ
V2	VPULSE.Normal 2: PER=10ms, TF,TR=1μs, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R2	R.Normal : R= 1kΩ
Ty1	2N1595.Normal
Ty2	2N1595.Normal
D1	MUR5005.Normal
D2	MUR5005.Normal
R	R.Normal : R= 2Ω
L	L.Normal : L = 20mH

Zátěž RL (odporově induktivní)

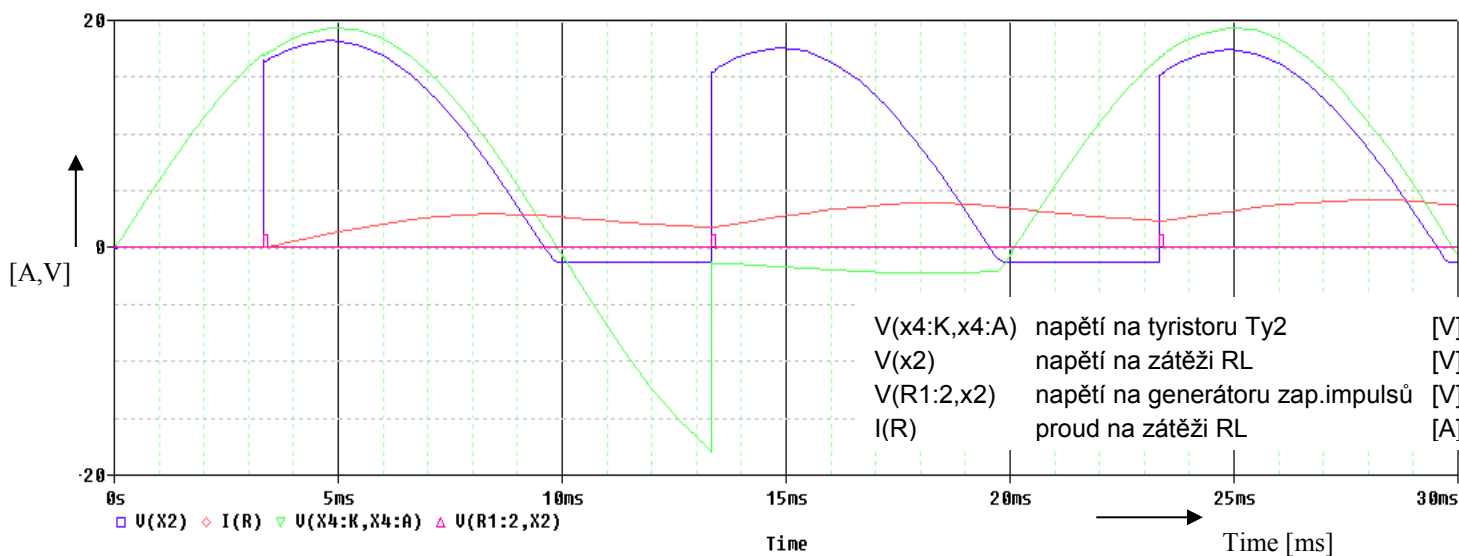
Nastavené hodnoty :

Zátěž $L=0,02\text{H}$, $R=2\Omega$, generátor pulzů frekvence $f=50\text{Hz}$, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$, střídavé napětí na AC Voltage Source = 20V

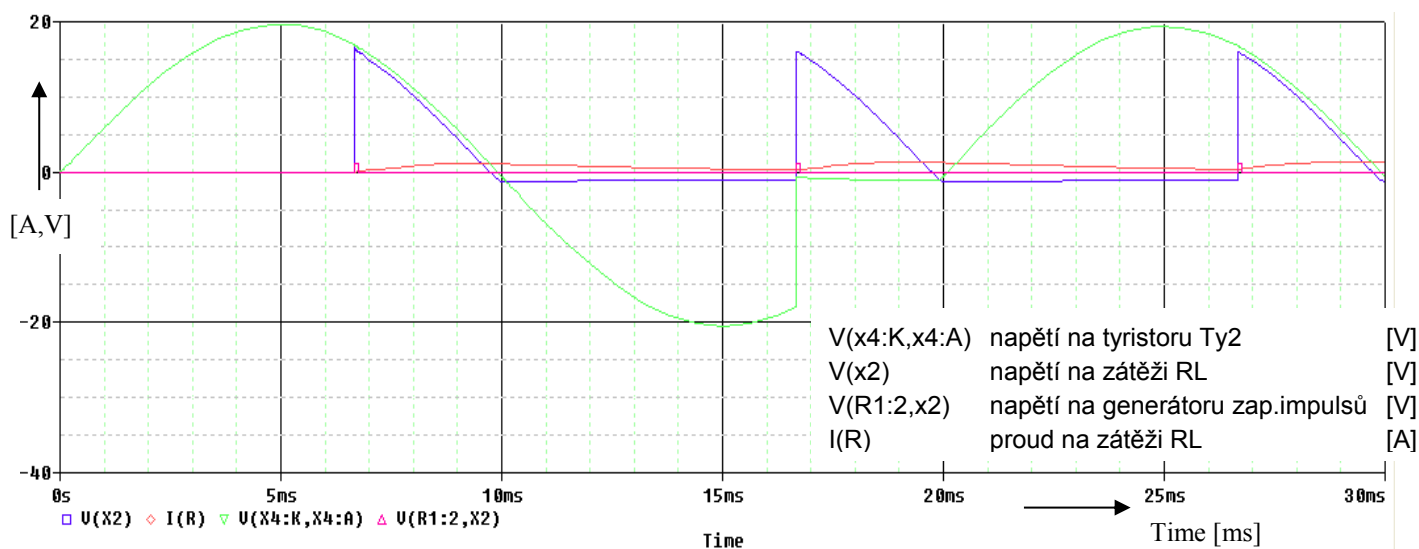


Obr. 4: Schéma zapojení pro RL zátěž (nesymetrické zapojení)

Příloha 2



Obr. 5: Graf průběhů napětí a proudu zátěže RL pro řídicí úhel 60° (nesymetrické zapojení)



Obr. 6: Graf průběhů napětí a proudu zátěže RL pro řídicí úhel 120° (nesymetrické zapojení)

Příloha 3

Schéma sestavené v programu OrCAD: symetrické zapojení

Ukázka měření proudů na jednotlivých součástkách

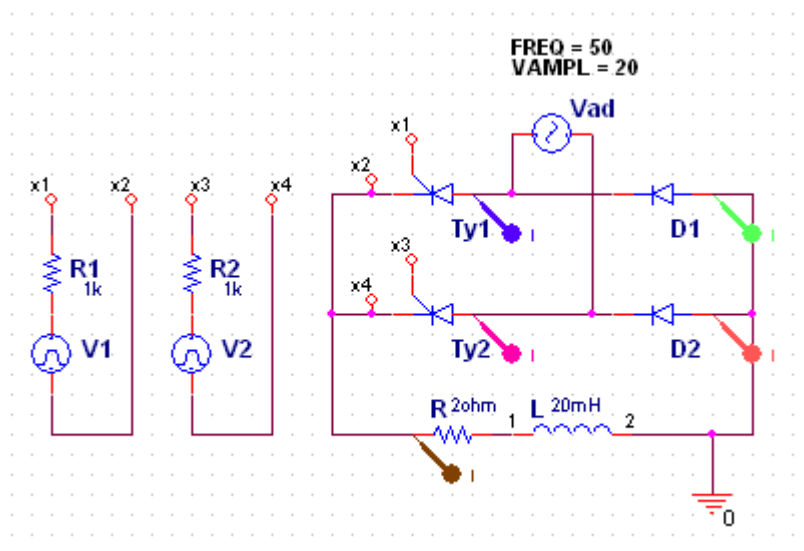
Použité součástky:

Vad	VSIN.Normal: frekvence = 50Hz, VAMPL = 20
V1	VPULSE.Normal 1: PER=10ms, TF,TR=1 μ s, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R1	R.Normal : R= 1k Ω
V2	VPULSE.Normal 2: PER=10ms, TF,TR=1 μ s, TD: pro 60° = 3.333ms, pro 120° = 6.666ms
R2	R.Normal : R= 1k Ω
Ty1	2N1595.Normal
Ty2	2N1595.Normal
D1	MUR5005.Normal
D2	MUR5005.Normal
R	R.Normal : R= 2 Ω
L	L.Normal : L = 20mH

Zátěž RL (odporově induktivní)

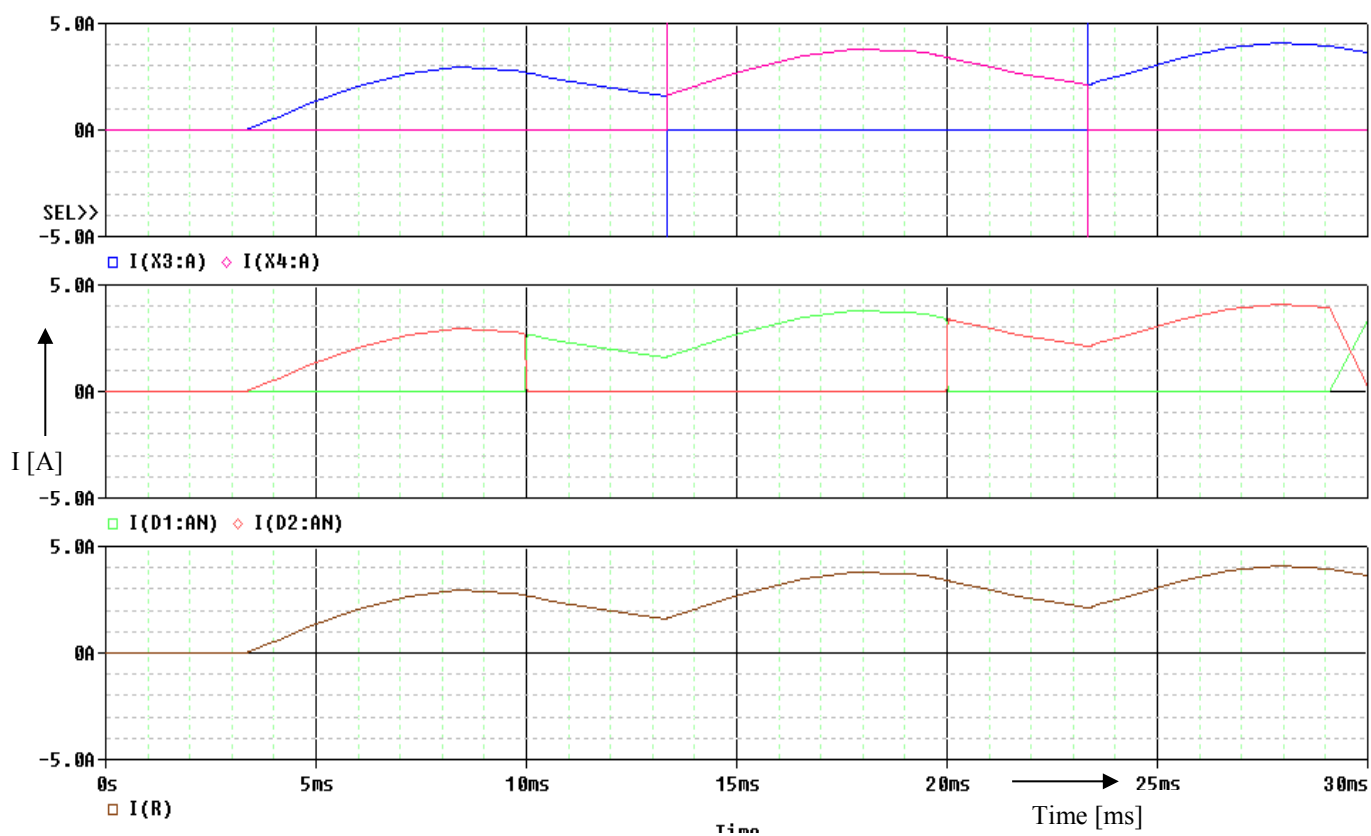
Nastavené hodnoty :

Zátěž L=0,02H, R=2 Ω , generátor pulzů frekvence f=50Hz, amplituda = 20, úhel řízení $\alpha=60^\circ$, střídavé napětí na AC Voltage Source = 20V



Obr. 7: Schéma pro řídicí úhel 60° (symetrické zapojení)
umístění měřicích sond na anodách součástek

Příloha 3



Obr. 8: Graf s průběhy proudů na součástkách zapojení pro řídicí úhel 60° : (symetrické zapojení)
Sled grafů: Tyristory-diody-zátěž

Popis

$I(D1:AN)$	proud na anodě diody D1	[A]
$I(D2:AN)$	proud na anodě diody D2	[A]
$I(X3:A)$	proud na anodě tyristoru Ty1	[A]
$I(X4:A)$	proud na anodě tyristoru Ty2	[A]
$I(R)$	proud na zátěži RL	[A]